

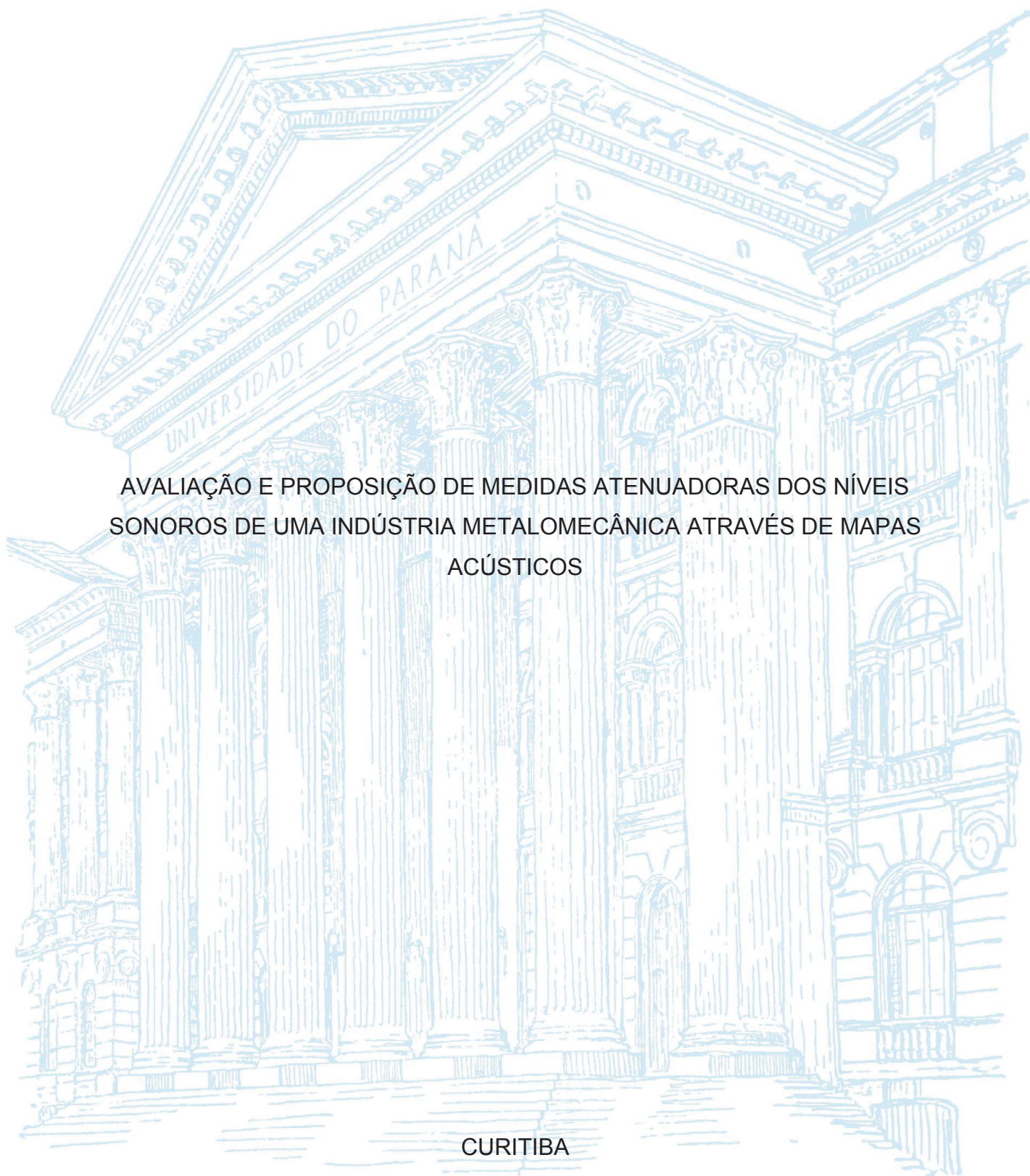
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

TIAGO ALEX GONÇALVES

AVALIAÇÃO E PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS ATENUADORAS DOS NÍVEIS
SONOROS DE UMA INDÚSTRIA METALOMECÂNICA ATRAVÉS DE MAPAS
ACÚSTICOS

CURITIBA

2019



TIAGO ALEX GONÇALVES

AVALIAÇÃO E PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS ATENUADORAS DOS NÍVEIS
SONOROS DE UMA INDÚSTRIA METALOMECÂNICA ATRAVÉS DE MAPAS
ACÚSTICOS

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial, no Curso de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Titular Dr.-Ing. Paulo Henrique Trombetta Zannin

Coorientador: Prof. Dr. Alvaro Luiz Mathias

CURITIBA

2019

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

G635a

Gonçalves, Tiago Alex

Avaliação e proposição de medidas atenuadoras dos níveis sonoros de uma indústria metalomecânica através de mapas acústicos [recurso eletrônico] /Tiago Alex Gonçalves. – Curitiba, 2019.

Dissertação – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, 2019.

Orientador: Paulo Henrique Trombetta Zannin. Coorientador: Alvaro Luiz Mathias.

1. Ruído industrial. 2. Poluição sonora. 3. Indústrias metalúrgicas. I. Universidade Federal do Paraná. II. Zannin, Paulo Henrique Trombetta. III. Mathias, Alvaro Luiz. IV. Título.

CDD: 344.0463

Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **TIAGO ALEX GONÇALVES** intitulada: **AVALIAÇÃO E PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS ATENUADORAS DOS NÍVEIS SONOROS DE UMA INDÚSTRIA METALOMECÂNICA ATRAVÉS DE MAPAS ACÚSTICOS**, sob orientação do Prof. Dr. PAULO HENRIQUE TROMBETTA ZANNIN, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **Aprovação** no rito de defesa.

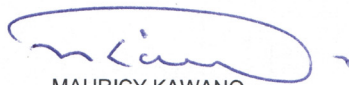
A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 20 de Novembro de 2019.



PAULO HENRIQUE TROMBETTA ZANNIN

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



MAURICY KAWANO

Avaliador Interno (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL)



MARCUS VINICIUS MANFRIN DE OLIVEIRA FILHO

Avaliador Externo (PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL /UNIVERSIDADE POSITIVO)

»Fremde Geräusche sind lauter,
als der eigene Lärm.«
Fred Ammon

RESUMO

O ruído ambiental apesar de ser muito ignorado, é um dos principais poluentes ambientais da atualidade. A poluição sonora pode ocasionar danos à saúde, danos econômicos e ambientais, estando presente em cidades de pequeno, médio e grande porte. Geralmente, o controle do ruído requer ações na fonte, no percurso e no receptor, o que torna o mesmo dispendioso. Esta dissertação atuou na avaliação e controle do ruído gerado em uma indústria metalomecânica, instalada em uma área residencial na região metropolitana de Curitiba. A atividade da indústria ocasiona frequentes reclamações da comunidade circundante. Para analisar a poluição sonora ocasionada pela indústria, avaliou-se os ruídos industriais gerados por empilhadeira, prensas e os ruídos residuais industriais, no período diurno e noturno, com a posterior elaboração de mapas sonoros e propostas de atenuação. Após a avaliação, resultados mostraram que o ruído gerado pela indústria alcança níveis acima da legislação em todos os períodos do dia. O impacto sonoro gerado pelas atividades industriais é altamente impactante para a região. O ruído diurno residual da indústria atinge nas áreas habitadas níveis de pressão sonora de 63 dB(A) e 67 dB(A) para o ruído residual noturno, ambos acima dos níveis de aceitação da Lei Municipal nº 1319 de 2008. Quando consideradas as principais fontes de geração de ruído – as prensas e as empilhadeiras – os níveis sonoros alcançados são de 74 dB(A) para as prensas e 84 dB(A) para ruído das empilhadeiras, ambos nas áreas habitadas e muito acima do critério legal estabelecido. O ruído gerado pela planta industrial atualmente, nas condições acústicas do prédio e principalmente pela característica impulsiva do ruído, revela um enorme potencial para poluição sonora e incômodo ao bem-estar da população adjacente. O controle destes níveis sonoros requer ações robustas, para que o mesmo seja minimizado. Resultados obtidos em simulações de propagação do som, evidenciam que a poluição sonora expõe diariamente cerca de 3915 pessoas a níveis acima do recomendado pela NBR 10151/2019. Para minimizar a geração do ruído foram modelados vários cenários acústicos que permitiram alcançar resultados promissores de redução dos níveis sonoros. As ações propostas para o nível de ruído industrial residual, diurno e noturno, e para o ruído específico gerado pela(s) empilhadeira(s), reduziram a propagação sonora em áreas urbanas a níveis aceitáveis, minimizando drasticamente o impacto ambiental causado pelo ruído industrial. As ações para minimizar o ruído da prensa também obtiveram resultados positivos, reduzindo substancialmente a abrangência do impacto sonoro. Por fim, concluiu-se que o ideal é submeter um conjunto de medidas de redução de ruído que variam desde alterações nas fontes sonoras, como a modificações da arquitetura da indústria.

Palavras-chave: Ruído industrial. Poluição sonora. Ruído de Prensas. Ruído de Empilhadeira. Incômodo à vizinhança e Mapeamento sonoro.

ABSTRACT

Environmental noise is one of the main environmental pollutants despite of being neglected. The noise pollution can impact on the health, on the economy and on the environment affecting not only large-sized cities but also medium and small ones. Generally, the control of the noise needs to be done directly in the source, during the transmission and also in the receiver, which considerable increases the costs. This paper's aim was to evaluate and control the noise generated in a metalworking industry located in a residential area in Curitiba metropolitan region. Industries activities cause constant neighborhood complaints. In order to analyze the noise pollution caused by the industry, evaluated the industrial noise generated by forklift, presses and industrial residual noise, during the day and night, with the subsequent elaboration of sound maps and attenuation proposals. After the evaluation, the results showed that the noise generated by the industry reaches levels above the legislation in all periods of the day. The noise generated by the industrial activity was found to have severe impacts for the region. Residual day-noise in inhabited areas reached sound pressure levels of 63 dB (A) while for residual night-noise values of 67 dB (A) were measured. Both are above the acceptance levels of Municipal Law 1319/2008. When considering the main sources of noise generation - presses and forklifts - also measured in inhabited areas, the sound levels achieved were 74 dB (A) for eccentric presses and 84 dB (A) for forklift noise, values well above the established legal criteria. The noise generated by the industrial plant reveals a huge potential for noise pollution and annoyance to the community's well-being due to the acoustic conditions of the building and mainly because of its impulsive pattern. In order to control these sound levels, robust actions are needed. Results obtained in sound propagation simulations show that noise pollution exposes about 4000 people daily to levels above the one recommended by NBR 10151/2019. To minimize the noise generation several acoustic scenarios were modeled and based on them solutions for day-noise residual, night-noise residual and also for the specific noise generated by forklifts were proposed. The proposed actions have reduced noise propagation in urban areas to acceptable levels, minimizing drastically the environmental impact caused by industrial noise. Strategies to minimize the press machine noise also yielded positive results, substantially reducing the range of sound impact. Finally, it was concluded that the ideal situation is to submit a set of noise reduction measures since changes in sound source to changes in the building architecture.

Keywords: Industrial noise, Noise pollution, Presses noise, Forklift noise, Vicinity, bother, Noise mapping.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – GRAVIDADE DOS EFEITOS DO RUÍDO NA SAÚDE.....	27
FIGURA 02 – DETALHE ARQUITETÔNICO DA PLANTA.....	36
FIGURA 03 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO INDUSTRIAL.....	37
FIGURA 04 – FERRAMENTAL DE ESTAMPO REALIZANDO FURAÇÕES ...	38
FIGURA 05 – FERRAMENTAL DE REPUXO	38
FIGURA 06 – PRENSA 600 TONELADAS	39
FIGURA 07 – POSIÇÃO DA PRENSA 600 TON	40
FIGURA 08 – REGIÃO DE MOVIMENTAÇÃO DA EMPILHADEIRA.....	41
FIGURA 09 – SEQUÊNCIA DE TRABALHO.....	42
FIGURA 10 – PONTOS DE MEDIÇÃO DO RUÍDO RESIDUAL NOTURNO ...	44
FIGURA 11 – PONTOS DE MEDIÇÃO DO RUÍDO RESIDUAL DIURNO.	46
FIGURA 12 – PONTOS DE MEDIÇÃO DO RUÍDO DA PRENSA.....	47
FIGURA 13 – PONTOS DE MEDIÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA.....	48
FIGURA 14 – PROCEDIMENTO PARA MEDIÇÃO SONORA.....	49
FIGURA 15 – MODELO GEOMÉTRICO DA ÁREA ESTUDO	52
FIGURA 16 – MODELO EM 3 DIMENSÕES DA ÁREA ESTUDO	53
FIGURA 17 – MAPA DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO INDUSTRIAL RESIDUAL GERADO NO PERÍODO NOTURNO	61
FIGURA 18 – MAPA 3D DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO INDUSTRIAL RESIDUAL NO PERÍODO NOTURNO.....	62
FIGURA 19 – MAPA DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO INDUSTRIAL RESIDUAL GERADO NO PERÍODO DIURNO	70
FIGURA 20 – MAPA 3D DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO RESIDUAL DIURNO NA FACE FRONTAL (PONTOS CRÍTICOS 05, 06 E 07).....	71
FIGURA 21 – MAPA 3D DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO RESIDUAL DIURNO NA FACE POSTERIOR.....	72
FIGURA 22 – PROCESSO DE ESTAMPAGEM	75
FIGURA 23 – MAPA DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA PRENSA.....	82
FIGURA 24 – MAPA 3D DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA PRENSA NA FACE FRONTAL (PONTOS 05, 07, 08 E 11).....	83
FIGURA 25 – MAPA 3D DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA PRENSA NA FACE POSTERIOR (PONTO 27).....	84

FIGURA 26 – MAPA DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA	89
FIGURA 27 – MAPA 3D DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA NA FACE FRONTAL (PONTOS 01, 02, 03 E 04).....	91
FIGURA 28 – MAPA 3D DE CORTE DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA.....	92
FIGURA 29 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA COM VELOCIDADE REDUZIDA.	96
FIGURA 30 – COMPARAÇÃO DO NPS GERADO PELA EMPILHADEIRA, ANTES E APÓS MEDIDAS PARA REDUÇÃO DO RUÍDO.....	96
FIGURA 31 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA COM PAVIMENTO EM ASFALTO.....	98
FIGURA 32 – COMPARAÇÃO DO NPS GERADO PELA EMPILHADEIRA, ANTES E APÓS PROPOSTA DE PAVIMENTAÇÃO.	99
FIGURA 33 – LOCALIZAÇÃO DA BARREIRA.....	100
FIGURA 34 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA COM BARREIRA DE 4,0M.	100
FIGURA 35 – COMPARAÇÃO DO NPS GERADO POR EMPILHADEIRA, ANTES E APÓS A BARREIRA NA DIVISA.....	101
FIGURA 36 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA COM CONJUNTO DE AÇÕES	103
FIGURA 37 – COMPARAÇÃO DO NPS GERADO POR EMPILHADEIRA, ANTES E APÓS A REALIZAÇÃO DE TODAS AS AÇÕES.....	104
FIGURA 38 – MAPA 3D DE CORTE DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA APÓS A REALIZAÇÃO DE TODAS AS AÇÕES	104
FIGURA 39 – MAPA 3D DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA NA FACE DE CORTE APÓS A REALIZAÇÃO DE TODAS AS AÇÕES.	105
FIGURA 40 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA COM REDUÇÃO NA VELOCIDADE E ALTERAÇÃO DO PAVIMENTO.	106
FIGURA 41 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA COM REDUÇÃO NA VELOCIDADE E A CONSTRUÇÃO DE BARREIRA COM 4,0 M.....	106

FIGURA 42 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA COM PAVIMENTAÇÃO EM ASFALTO E A CONSTRUÇÃO DE BARREIRA DE 4,0 M.	107
FIGURA 43 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA PRENSA COM CONJUNTO BARREIRA DE 4 M	108
FIGURA 44 – COMPARAÇÃO DO NPS GERADO PELA PRENSA, ANTES E APÓS A REALIZAÇÃO DA BARREIRA NO PERÍMETRO DE CERCAMENTO DA PLANTA.	109
FIGURA 45 – AMPLIAÇÃO DA BARREIRA NO SETOR	110
FIGURA 46 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA PRENSA COM BARREIRAS DE 13M NO SETOR.	110
FIGURA 47 – COMPARAÇÃO DO NPS GERADO PELA PRENSA, ANTES E APÓS A REALIZAÇÃO DA BARREIRA COM 13 M NO SETOR DE ESTAMPARIA.	111
FIGURA 48 – NOVA PROPOSTA DE ENCLAUSURAMENTO.....	112
FIGURA 49 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA PRENSA COM BARREIRAS NO SETOR	112
FIGURA 50 – COMPARAÇÃO DO NPS GERADO PELA PRENSA, ANTES E APÓS A REALIZAÇÃO DA BARREIRA COM 13 M NO SETOR DE ESTAMPARIA.	115
FIGURA 51 – MAPA 3D DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA PRENSA NA FACE FRONTAL	115
FIGURA 52 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO RESIDUAL DIURNO	116
FIGURA 53 – COMPARAÇÃO DO NPS RESIDUAL, ANTES E APÓS A BARREIRA NA DIVISA DA INDÚSTRIA.	117
FIGURA 54 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO RESIDUAL NOTURNO	119
FIGURA 55 – COMPARAÇÃO DO NPS NOTURNO DA PLANTA, ANTES E APÓS A PROPOSTA DE BARREIRA NA DIVISA E NA TORRE DE RESFRIAMENTO.	119

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 01 – AVALIAÇÃO SONORA DO RUÍDO INDUSTRIAL RESIDUAL NOTURNO.....	57
GRÁFICO 02 – DIFERENÇAS DO RUÍDO ESTATÍSTICO LA10 DO LA90 DA FONTE NOTURNA	59
GRÁFICO 03 – FAIXA DE LAEQ PARA DESVIO DE ATÉ 3 DB	61
GRÁFICO 04 – AVALIAÇÃO SONORA DO RUÍDO RESIDUAL DIURNO.....	65
GRÁFICO 05 – DIFERENÇAS DO RUÍDO ESTATÍSTICO DA FONTE RESIDUAL DIURNA	68
GRÁFICO 06 – FAIXA DE LAEQ PARA DESVIO DE ATÉ 3 DB DO MODELO DE PROPOGAÇÃO DO RUÍDO RESIDUAL DIURNO.	70
GRÁFICO 07 – AVALIAÇÃO SONORA DO RUÍDO DA PRENSA.....	76
GRÁFICO 08 – DIFERENÇAS DO RUÍDO ESTATÍSTICO DA FONTE DE PRENSA	79
GRÁFICO 09 – FAIXA DE LAEQ PARA DESVIO DE ATÉ 3 DB DO MODELO DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA PRENSA.	81
GRÁFICO 10 – AVALIAÇÃO SONORA DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA.....	86
GRÁFICO 11 – DIFERENÇA DO RUÍDO ESTATÍSTICO DA FONTE DE EMPILHADEIRA.	87
GRÁFICO 12 – FAIXA DE LAEQ PARA DESVIO DE ATÉ 3 DB DO MODELO DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA PRENSA.	89

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 – DESCRIÇÃO DE RUÍDO ESTATÍSTICO TÍPICO COM PONDERAÇÃO A.....	24
QUADRO 02 – CONTROLE CONHECIDO PARA INTERFACE DE RUÍDO....	30
QUADRO 03 – CLASSIFICAÇÃO DAS INDÚSTRIAS.....	33
QUADRO 04 – COMPARAÇÃO DE PERÍODO ENTRE REQUISITOS	34
QUADRO 05 – DISTÂNCIAS DE INTERESSE EM RELAÇÃO A PRENSA 600 TON.	40
QUADRO 06 – DETALHES DO HISTÓRICO DE RECLAMAÇÕES	41

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – MODELO DE PLANILHA PARA CÁLCULO ESTATÍSTICO	50
TABELA 02 – RUÍDO NOTURNO	56
TABELA 03 – DIFERENÇA DO RUÍDO ESTATÍSTICO	58
TABELA 04 – DESVIO DE NPS MEDIDO E CALCULADO.	60
TABELA 05 – RUÍDO DIURNO, SEM A FONTE PRINCIPAL	64
TABELA 06 – DIFERENÇA DO RUÍDO ESTATÍSTICO RESIDUAL DIURNO LA10 DO LA90.....	67
TABELA 07 – DESVIO DE NPS RESIDUAL DIURNO MEDIDO E CALCULADO.....	69
TABELA 08 – RUÍDO DA PRENSA	74
TABELA 09 – DIFERENÇA DO RUÍDO ESTATÍSTICO DO RUÍDO DA PRENSA.....	78
TABELA 10 – DESVIO DO NPS GERADO PELA PRENSA E CALCULADO..	80
TABELA 11 – RUÍDO DA EMPILHADEIRA.....	85
TABELA 12 – DESVIO DO NPS GERADO PELA PRENSA E CALCULADO..	88
TABELA 13 – DESVIO DO NPS MEDIDO PONTUALMENTE E CALCULADO CONSIDERANDO LIMITAR A VELOCIDADE DA EMPILHADEIRA.....	95
TABELA 14 – DESVIO DO NPS MEDIDO PONTUALMENTE E CALCULADO CONSIDERANDO O CENÁRIO DE MUDANÇA DO PAVIMENTO PARA ASFALTO.	97
TABELA 15 – COMPARAÇÃO DO NPS MEDIDO X PREVISTO	102
TABELA 16 – COMPARAÇÃO DO NPS MEDIDO X PREVISTO	113
TABELA 17 – COMPARAÇÃO DO NPS MEDIDO X PREVISTO	117
TABELA 18 – COMPARAÇÃO DO NPS MEDIDO X PREVISTO	120

LISTA DE SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEDR	- Conference of European Directors of Roads
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
DALY	- Disability adjusted life years (Anos de vidas ajustados por incapacidade)
dB	- Decibel
Hz	- Hertz
IEC	- International Electrotechnical Commission
ISO	- Organização Internacional para Padronização (ISO)
L_{10}	- Nível sonoro que foi excedido em 10% do tempo de medição
L_{90}	- Nível sonoro que foi excedido em 90% do tempo de medição
LA	- Nível de ruído ponderado em A
LAAICA	- Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico
L_{Aeq}	- Nível de pressão sonora equivalente ponderada em A
$L_{Aeq}(\text{específico})$	- Nível de pressão sonora para fonte específica qualquer
$L_{Aeq, T}$	- Nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderada em A e integrado em um intervalo de tempo "T" em segundos.
$L_{Aeq, 5}$	- Nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderada em A e integrado em um intervalo de tempo de 5 segundos.
$L_{Aeq, 1}$	- Nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderada em A e integrado em um intervalo de tempo de 1 segundo.
LEQ	- Nível de pressão sonora equivalente.
L_R	- Nível de pressão sonora corrigido.
NBR	- Norma Brasileira
NPS	- Nível de pressão sonora
RL_{Aeq}	- Limite permissível dos níveis de pressão sonora.
TON	- Toneladas
WG-AEN	- European Commission Working Group – Assessment of Exposure to Noise
WHO	- WORLD HEALTH ORGANIZATION

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVO GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1	CONCEITOS FUNDAMENTAIS DO SOM	19
3.1.1	Elementos da onda sonora	20
3.1.1.1	Período e frequência	20
3.1.1.2	Velocidade	21
3.1.1.3	Comprimento da onda sonora	21
3.1.2	Espectro de frequência e bandas de oitavas	22
3.2	ACÚSTICA	22
3.2.1	Psicoacústica	23
3.2.2	Decibels	23
3.2.2.1	Redes de ponderação	24
3.3	RUÍDO ESTATÍSTICO	24
4	REVISÃO DA LITERATURA	25
4.1	POLUIÇÃO SONORA	25
4.2	EFEITOS DO RUÍDO NA SAÚDE	26
4.3	EFEITOS DO RUÍDO NOS ANIMAIS	27
4.4	RUÍDO INDUSTRIAL	28
4.4.1	Prensas	29
4.5	CONTROLE DE RUÍDO	30
4.6	REQUISITOS LEGAIS E NORMAS DE REFERÊNCIA	31
4.6.1	Requisitos federais	31
4.6.2	Requisitos legais do estado do paraná	32
4.7	REQUISITOS LEGAIS DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS	33
4.8	NORMAS TÉCNICAS UTILIZADAS NESTE TRABALHO	34
5	METODOLOGIA	35
5.1	ESTUDO DE CASO	35
5.1.1	Arquitetura da planta industrial	35
5.1.2	Área de ocupação da indústria no município	36

5.1.3	Detalhes da indústria	37
5.1.4	Leiaute fabril	39
5.1.4.1	Localização da prensa 600 Ton.....	39
5.1.4.2	Região de movimentação de empilhadeira na área externa.....	40
5.1.5	Reclamações existentes	41
5.2	SEQUÊNCIA DE TRABALHO	42
5.2.1	Medições	42
5.2.2	Medição ruído industrial residual noturno	43
5.2.3	Medição do ruído industrial residual no período diurno	45
5.2.4	Ruído da prensa	46
5.2.5	Ruído da empilhadeira.....	48
5.2.6	Equipamento utilizado	49
5.2.7	Ruído estatístico	50
5.2.8	Mapas acústicos	50
5.2.8.1	Método de cálculo.....	51
5.2.8.2	Altimetria do terreno	51
5.2.8.3	Modelo geométrico	52
5.2.8.4	Características da fonte e região	53
5.2.8.5	Área de cálculo	54
5.2.8.6	Elaboração e calibração do modelo.....	54
5.2.8.7	Confecção dos mapas acústicos	55
5.2.8.8	Proposição de medidas	55
5.3	AVALIAÇÃO DAS FONTES	55
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
6.1	CARACTERIZAÇÃO DO NÍVEL SONORO NOTURNO	56
6.1.1	Ruído estatístico	58
6.1.2	Mapeamento acústico.....	60
6.1.3	Análise das fachadas.....	62
6.2	CARACTERIZAÇÃO DIURNA, SEM A FONTE PRINCIPAL	63
6.2.1	Ruído estatístico	67
6.2.2	Mapeamento acústico.....	68
6.2.3	Análise das fachadas.....	71
6.2.4	Ruído estatístico	78
6.2.5	Mapeamento acústico.....	80

6.2.6	Análise das fachadas.....	83
6.3	CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA	84
6.3.1	Ruído estatístico.....	87
6.3.2	Mapeamento acústico.....	87
6.3.3	Análise das fachadas.....	90
6.4	MEDIDAS MITIGATÓRIAS.....	93
6.4.1	Ações para minimizar o ruído da empilhadeira;.....	94
6.4.1.1	Limite de velocidade	94
6.4.1.2	Alteração no pavimento	97
6.4.1.3	Construção de barreira	99
6.4.1.4	Ações em conjunto para minimização do ruído	101
6.4.2	Ações para minimizar o ruído da prensa	107
6.4.2.1	Implementação da barreira	108
6.4.2.2	Barreira o setor das prensas	109
6.4.3	Ações para minimizar o ruído residual da planta.....	116
7	CONCLUSÃO	121
8	REFERÊNCIAS	123

1 INTRODUÇÃO

A poluição sonora é um fenômeno ambiental relacionado à sociedade moderna e está embarcado em praticamente todas as atividades, influenciando a qualidade de vida da sociedade (BIES e HANSEN, 2003). Como resultado, a poluição sonora existe em praticamente todas as nações (ZANNIN, 2016).

O ruído não deve ser considerado, de forma simplificada, como um mero incômodo (WHO, 2011). Segundo Murphy e King (2014) o impacto do ruído ambiental era tão pouco valorizado, que ficou conhecido como “poluente esquecido”. A exposição ao ruído ambiental é um dos principais agressores à saúde da população, sendo superior a outras poluições como chumbo, ozônio e dioxinas (STANSFELD, 2015).

Pela abrangência da poluição sonora, este impacto ambiental deveria ser prioridade para definição de políticas públicas, minimizando os possíveis incômodos ao bem-estar da população (ZANNIN, 2016). Entretanto, para Basner et. al. (2014) a sociedade continua negligenciando a poluição sonora e os possíveis efeitos indesejáveis.

Os danos à saúde são abrangentes como perturbações psiquiátricas e estresse, que podem, inclusive, induzir a diversos outros prejuízos intermediários (BABISCH, 2002). De acordo com Murray e Lopes (1996), DALY é um ano de vida perdido que poderia ser saudável e está relacionado a qualidade de vida, em tradução livre significa “Anos de Vida ajustados por incapacidade”. A poluição sonora causa tanto impacto a qualidade de vida, que existem relações entre a exposição ao ruído e DALYs perdidos em razão de doenças cardíacas isquêmicas, hipertensão, doenças cognitivas, perturbação do sono, zumbido e aborrecimento (WHO, 2011). Igualmente, para Basner et al. (2014), a exposição ao ruído ambiental ocasiona, milhares de DALYs perdidos por diversas doenças não relacionadas a problemas auditivos.

Além disso, a poluição sonora pode ocasionar perdas econômicas, como a desvalorização de imóveis, redução da qualidade de vida e perdas em custos sociais, que está relacionada à mortalidade prematura. (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2001; FIEDLER E WILHELM, 2001).

Para Vér e Beranek (2006), o ruído indesejado que afeta as comunidades é gerado, majoritariamente, em fontes industriais, de construção e

por meios de transporte. Segundo Spon e Spon (1991) o ruído industrial pode avançar para vizinhança, exigindo requisitos de padronização legal. Entretanto, mesmo adotando ferramentas para reduzir e regulamentar, ainda somos afetados pelo ruído gerado em outras fontes (Goines e Hagler, 2007).

De acordo com a COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS (2001) as indústrias interagem com o meio físico ao seu redor desenvolvendo regiões, atraindo moradias e estrutura, mas é possível que também venham a gerar aspectos ambientais negativos, como ruído, emissões atmosféricas, efluentes e outras consequências danosas ao meio ambiente.

Atualmente, o ruído é um dos principais problemas ambientais urbanos, mas ainda assim é pouco discutido e o seu controle exige ações complexas e caras, cuja implementação tem sido menos prioritária que ações destinadas ao controle de outras poluições (MURPHY E KING, 2014)

Em comparação com outras fontes de ruído, o ruído industrial ainda é pouco estudado no Brasil, seja por falta de acesso dos pesquisadores à indústria ou pela própria metodologia de trabalho, que geralmente considera o nível sonoro conforme dados em uma biblioteca ou então avaliações do ruído global, desconsiderando as minúcias tradicionais de um ambiente industrial.

A indústria metalúrgica é um dos principais geradores de ruído industrial. Este segmento compreende equipamentos fixos e móveis com capacidade de gerar elevados níveis sonoros.

Esta condição exige a elaboração de um trabalho independente, crítico e de pesquisa para além de identificar as causas da poluição sonora também venha a propor alternativas criativas e viáveis para atenuar o nível de ruído gerado em consonância com os requisitos legais, sem trazer prejuízos à qualidade de vida da vizinhança e a atividade industrial.

O presente projeto propõe medidas para realizar o controle do ruído, reduzindo os níveis de pressão sonora que interagem com as residências no entorno da indústria. As medidas propostas seguiram as recomendações de Barron (2003) e Bisfata (2011), sugerindo ações primárias para redução do ruído na fonte, seguido por alterações nos percursos de propagação do som.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar e propor medidas atenuadoras dos níveis sonoros de uma indústria metalomecânica através de mapas acústicos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar as principais fontes sonoras em operação na indústria em estudo;
- Caracterizar o ruído industrial residual da planta, ausente das fontes principais identificadas;
- Comparar os níveis de pressão sonora medidos e os estabelecidos pela legislação para a região;
- Verificar a propagação sonora do ruído da prensa no interior das instalações da indústria;
- Calcular os mapas de ruído gerados pela indústria no cenário atual e no cenário de predição acústica, que considera as medidas propostas para controle do ruído e;
- Comparar o prognóstico de imissão sonora esperado na comunidade, após as ações de redução, com os limites legais de níveis de pressão sonora.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são abordados as definições dos termos aplicados no desenvolvimento deste trabalho, permitindo uma melhor compreensão dos principais conceitos associados a ruído.

3.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DO SOM

O som é ocasionado por vibrações de corpos compressíveis associado a determinados limites de frequência (COSTA, 2003; KUNZ, 2009). Essas vibrações sonoras se transmitem ao entorno da fonte sonora, semelhante uma esfera, formando compressões e distensões sucessivas em todas as direções (COSTA, 2003; CARVALHO, 2010).

Para Souza, Almeida e Bragança (2012) essas vibrações estimulam a movimentação das partículas vizinhas, ocasionando impulsos que propagam o som, esta transmissão de energia se propaga em forma onda sonora.

A onda sonora se propaga somente nos meios elásticos, seja um meio gasoso, líquido ou sólido e, normalmente, é perceptível pelo senso auditivo humano (VÉR; BERANEK, 2006). A ação física das vibrações do ruído, são processadas fisiologicamente pela orelha e transformadas em impulsos elétricos para o cérebro, ocasionando a sensação sonora (BISTAFA, 2011).

De acordo com Costa (2003) assim como todo movimento material, o som apresenta determinada energia que, a partir de resistências opostas, é restituída ao meio por duas formas:

- A onda sonora pode encontrar um obstáculo, seja um sólido ou um meio elástico com outra densidade, ao qual cede parte da energia ao obstáculo, que entra em vibração;
- Transformação de energia cinética em calor devido à viscosidade do meio em que se propaga.

Som e ruído possuem conceitos diferentes, depende das circunstâncias que ocorre como comportamento, irritabilidade, relevância ao receptor ou características fundamentais do ruído, como intensidade e frequência, dentre outros fatores (CORDEIRO, 2009; INSTITUTO DO AMBIENTE, 2004). Entretanto, segundo Berglund, Lindvall e Schwela (2000), Kunz (2009) e Bistafa

(2011), o ruído é comumente considerado como desagradável e indesejado enquanto som é uma percepção sensorial e, portanto, subjetiva.

3.1.1 Elementos da onda sonora

A onda sonora apresenta atributos como altura, timbre, intensidade e duração que permitem identificar características do som (FONSECA, 2012).

O timbre está associado ao espectro sonoro, ou seja, a combinação das frequências que nos permitem identificar a origem do som (SOUZA, ALMEIDA, BRAGANÇA, 2012).

A duração determina a extensão do som, o período ou o número de ciclos que a variação de pressão atua no meio. Esta característica do som também define outra condição de classificação do som: impulsivo, contínuo e intermitente (KUNZ, 2009).

A altura indica se o som é grave ou agudo, conforme a quantidade de ciclos da onda por segundo, já a intensidade do som está relacionado a amplitude da onda (BRAGA et al., 2005; BISTAFÁ, 2011). A onda sonora pode mudar o aspecto do som, pois ela pode ser transmitida, refletida, difratada da superfície e absorvida. (KADAM; NAYAK, 2016).

3.1.1.1 Período e frequência

Define-se período como o tempo de duração de um ciclo em um intervalo de tempo, ou seja, o tempo exigido para efetuar uma onda completa de oscilação, sendo expressa em segundos, conforme a equação (1), em que T é o período e f é a frequência (VALLE, 2009).

$$f = \frac{1}{T} [Hz] \quad (1)$$

Em acústica é comum atuar com o inverso do período. A frequência representa o número de vibrações completas que são executadas em um segundo e possui a unidade hertz (VALLE, 2009; SOUZA, ALMEIDA e BRAGANÇA, 2012).

Com exceção das ondas perfeitas, as sinusoides, todos os sons são constituídos por várias frequências distintas e, em muitos sons, percebe-se uma frequência principal que se sobrepõe e que é denominada por frequência fundamental (FONSECA, 2012).

3.1.1.2 Velocidade

A velocidade de propagação do som é chamada de velocidade do som que é influenciada pelo meio e pela espécie de onda (BISTAFA, 2011). No meio sólido e líquido a velocidade de propagação está associada a densidade do material e a temperatura, entretanto quando a propagação ocorre no ar, depende somente da temperatura (VALLE, 2009).

O som é um onda mecânica e pode se propagar em meio líquido ou sólido, cuja velocidade de propagação é sempre superior em um meio líquido (FONSECA, 2012; BRAGA et al., 2005).

3.1.1.3 Comprimento da onda sonora

O comprimento de onda, representado por λ , é a distância percorrida por uma onda no período para completar um ciclo, podendo ser medido entre quaisquer dois pontos correspondentes (EVEREST; POHLMANN, 2009).

De acordo com Fonseca (2012) o comprimento de onda é essencial para o comportamento do som ao encontrar uma superfície ou obstáculo, pois se as dimensões do obtáculo for superior ao comprimento de onda ocorrerá uma sombra sonora. Entretanto caso haja o contrário, em que o comprimento de onda é superior a superfície ou obstáculo, o som irá conseguir contorná-lo.

De acordo com Bistafa (2011) o vínculo entre velocidade de propagação do som em metros/segundos e a frequência em ciclos/segundos, fornece o comprimento de onda, conforme expresso na equação (2) em que V_s é a velocidade do som, em metros, e f é a frequência em Hertz.

$$\lambda = \frac{V_s}{f} [m] \quad (2)$$

Portanto, para um som com frequência conhecida, o comprimento de onda estará associado a natureza do meio em que ocorre a propagação (COSTA, 2003). Outra característica que pode-se notar na equação, é que quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda (VALLE, 2009).

3.1.2 Espectro de frequência e bandas de oitavas

Som complexos como o gerado em máquinas e equipamentos não possuem um tom puro, são formados por uma faixa de frequência e uma oitava é uma banda de frequências que estão entre duas frequências (KUNZ, 2009). As oitavas são associadas a aspectos físicos do som aliado ao conceito múltiplo integral de harmônicos e sua semelhança com a forma de percepção auditiva humana evidencia que a percepção do som ocorre por meio de proporções em vez de aritmética (EVEREST; POHLMANN, 2009).

Conforme Everest e Pohlmann (2009) a expressão matemática de bandas de oitava está conforme a equação (3), considerando o intervalo de oitava.

$$\frac{\text{Freq. da borda superior}}{\text{Freq. da borda inferior}} = 2^{\text{número de oitavas}} \quad (3)$$

Quando considerado a banda de frequência é adotado medidores sonoros com analisador específico para banda de oitava, que atuam separando a pressão gerada em bandas de frequências (KUNZ, 2009).

3.2 ACÚSTICA

A acústica está associada a origem e desenvolvimento, no espaço e tempo, das ondas sonoras, ou seja, o fenômeno da propagação da onda que é singular e ocorre em um meio homogêneo infinito (LEFEBVRE, 1998).

De acordo com Braga et al. (2005) o som ainda possui propriedades de relevância acústica como a reflexão em anteparos, a absorção pelos materiais, difração em fendas e refração quando é transmitido por materiais.

3.2.1 Psicoacústica

Para Bistafa (2011) o sistema auditivo, transforma a grandeza física do som em sensações psicoacústica, considerando a audibilidade e tonalidade.

As sensações auditivas estão associadas a um conjunto de características de como o cérebro compreende o som que é recebido pelo ouvido (VALLE, 2009). Essa sensação está fortemente associada a característica de audição para cada frequência, no limite da audibilidade (COSTA, 2003).

Por meio de processos logarítmicos as sensações auditivas são convertidas em valores, semelhantes a processos matemáticos, que nos auxiliam a entender as enormes desproporções de sensibilidade (VALLE, 2009).

O logaritmo é útil para estudar o som pois permite associar as medições de ruído com a audição humana e expressar melhor os intervalos numéricos, por meio de uma relação de níveis sonoros em decibels que é uma das unidades de medidas sonoras mais importantes (EVEREST; POHLMANN, 2009).

3.2.2 Decibels

De acordo com Costa (2003) a escala de sensação auditiva convencional é chamada de decibel, que possui correlação direta ao logaritmo da intensidade energética.

A percepção humana do som não é proporcional a intensidade, mas mantém, a partir de condições logarítmicas, boa aproximação. Portanto é comum ser usado uma escala logarítmica, denominada bell e abreviada como B, para descrever o nível de intensidade sonora (TIPLER e MOSCA, 2009).

Para manifestação de interpretação o uso do bell não era adequado, pois produzia número em escalas pequenas podendo ocasionar discrepâncias no entendimento. Aderiu-se, então, um submúltiplo do bel, o decibel, onde 01 decibel equivale a 0,1 bel, e atualmente é amplamente usado com a abreviatura dB (VALLE, 2009; BRAGA, et al., 2005).

3.2.2.1 Redes de ponderação

O ouvido humano não reconhece igualmente sons que possuem a mesma intensidade, mas que estejam em frequências diferentes, deste modo, ruído com maior frequência podem parecer mais alto. Para avaliar esta percepção os instrumentos de medição possuem uma rede de ponderação “A” que simulam a percepção do ouvido humano (KUNZ, 2009).

O circuito comum de compensação contempla ainda os tipos “B”, “C” e “D”. O somatório dos valores ponderados A, referente a todas as frequências, é denominado L_A e expresso como dB ou simplesmente dB(A).

3.3 RUÍDO ESTATÍSTICO

Conforme Bistafa (2011) o som não é uniforme, existem variações no nível de ruído no decorrer do tempo e esta condição pode ser abordada estatisticamente conforme quadro 01.

QUADRO 01 - DESCRIÇÃO DE RUÍDO ESTATÍSTICO TÍPICO COM PONDERAÇÃO A

Ruído estatístico	Descrição
L_{10}	NPS excedido durante 10% do período de amostragem e considerado um bom indicador para os níveis mais elevados.
L_{50}	NPS excedido durante 50% do período de amostragem. Apesar de possuir grande utilidade, não é usualmente aplicado.
L_{90}	NPS excedido durante 90% do período de amostragem e considerado bom indicador para o ruído de fundo da região.

Fonte: Adaptado de Instituto do Ambiente (2004)

A partir das medições de ruído é possível calcular o L_{EQ} ou obtê-lo diretamente com um medidor de nível sonoro integrador, que, a partir de avaliações em um período específico é possível obter os indicadores estatísticos como o L_{50} , L_{90} e outros (KUNZ, 2009).

De acordo com o ABNT NBR 13369 (1995), o L_{EQ} , em dB(A), pode ser calculado pela equação (4).

$$LA_{eq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (4)$$

Onde:

- L_i é o nível de pressão sonora, em dB(A), medido em resposta rápida (fast), durante o tempo de medição do ruído e integração;
- n é o número total de leituras.

4 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção será apresentada uma revisão sobre a literatura pesquisada para a elaboração deste trabalho, abordando os danos que o ruído pode causar e a importância de atenuar os níveis sonoros. Um enfoque é dado para contextualizar o ruído de prensa que é um dos mais relevantes para a indústria metalomecânica.

4.1 POLUIÇÃO SONORA

A poluição sonora que está disseminado nos grandes centros urbanos, é uma emissão e pode ser considerada um contorno da poluição do ar, ameaçando o bem-estar e a saúde da população que está se expandindo e contribuindo para a magnitude dos danos causados (GOINES; HAGLER, 2007).

Para Braga et al. (2005) a poluição sonora possui interface comportamental e físico e, apesar da subjetividade da primeira, o ruído poderá ocasionar a poluição sonora ao provocar danos e lesões em qualquer interface.

A poluição sonora é um resultado da característica de vida moderna com difícil atuação para minimização, pois, até recentemente, não estava claro os efeitos colaterais, reduzindo o apelo para o desenvolvimento de tecnologias e boas práticas (SHARMA, MYRTHONG; LAL, 2015).

Nos centros urbanos a poluição sonora gerada pela rápida industrialização, desenvolvimento de novos sistemas de comunicação e crescimento populacional e do transporte, chegou a níveis inquietantes (HUNASHAL; PATIL, 2012).

Silva et al. (2016) avaliou a percepção da qualidade ambiental urbana de uma população em função do bem-estar para alguns aspectos ambientais, destes a poluição sonora se destacou como o mais significativo, principalmente pela combinação de diversas fontes, mantendo presença constante nas áreas.

4.2 EFEITOS DO RUÍDO NA SAÚDE

A exposição ao ruído ambiental é um dos principais agressores a saúde, situação que exige atenção das políticas públicas para o estabelecimento de ações que contribuam na redução da poluição sonora, que deveria ser considerada uma ameaça para a saúde (STANSFELD, 2015).

A exposição ao ruído ambiental, além de desagradável, gera efeitos adversos para a saúde, afeta a qualidade de vida, interfere nas atividades cotidianas, perturba e pode gerar efeitos psicossociais, portanto, o ruído não deve ser considerado somente um incômodo, mas como uma preocupação de saúde pública e ambiental (WHO, 2011).

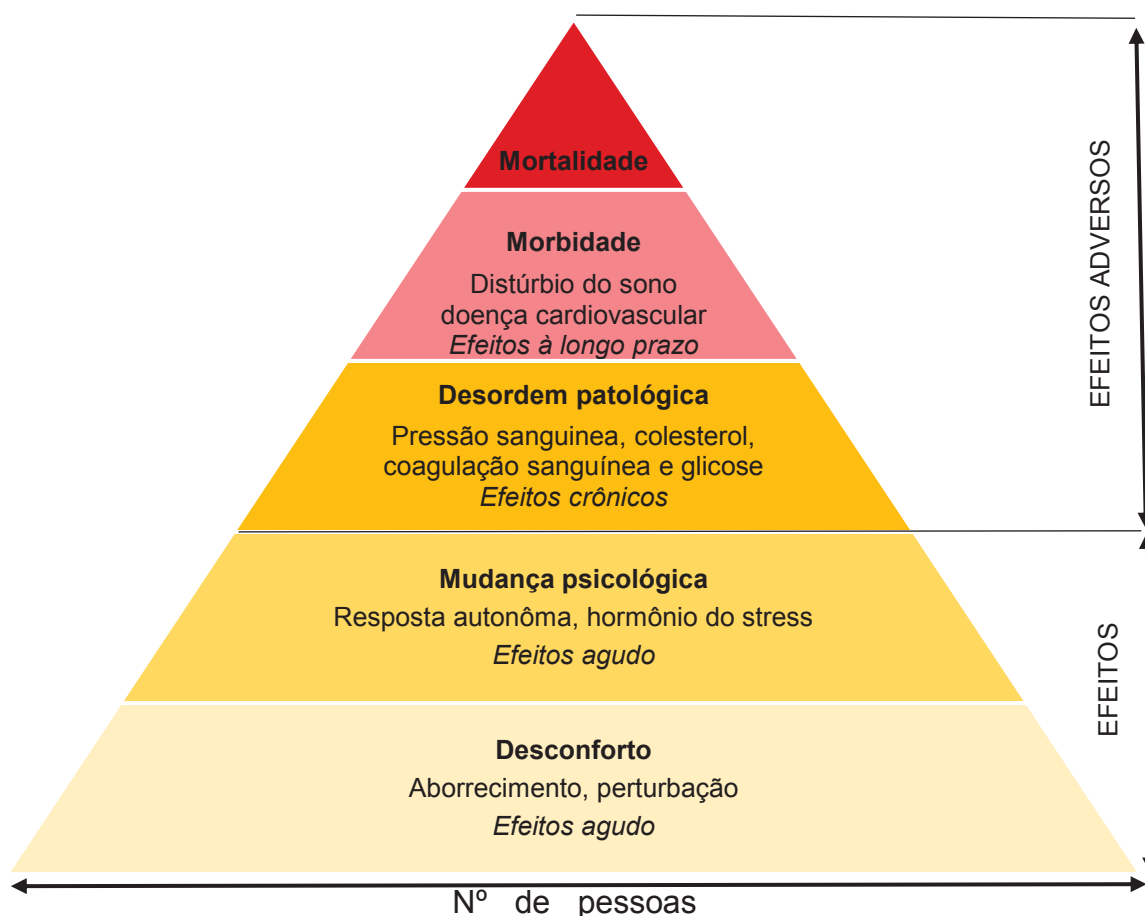
Os órgãos governamentais utilizam indicadores tradicionais para a definição de políticas públicas, entretanto com o aumento da expectativa de vida da população a atenção da saúde pública se direcionou a qualidade dos anos de vida ganhos e isso levou ao estabelecimento de medidas compostas de saúde, o qual se destaca os anos de vida ajustados por incapacidade (MELSE, 2000).

O conceito DALYs permite padronizar e medir os anos de vida perdidos para mortes prematuras e anos equivalentes de vida com deficiência ou má saúde, portanto, um DALY é um ano de vida perdido que poderia ser saudável (MURRAY e LOPES, 1996). Atualmente, os DALYs podem ser associados a indicadores de qualidade de vida (MELSE, 2000). Na Europa, a poluição sonora é um dos principais agentes ambientais causadores de DALYs, sendo superiores à de outras poluições como chumbo, ozônio e dioxinas (STANSFELD, 2015).

Estima-se, a partir de critérios conservadores, que a poluição sonora ocasiona milhares de DALYs perdidos na Europa Ocidental, gerando cerca de 61.000 anos para doença cardíaca isquêmica, 45.000 anos para deficiência cognitiva, 903.000 anos para distúrbios do sono, 22.000 anos para incômodos com zumbido e 654.000 anos para aborrecimento (WHO, 2011).

Conforme Babisch (2002), WHO (2011), Kunz (2009) e Hammer, Swinbur, Neitzel (2014) a figura 01 apresenta esquematicamente a criticidade dos danos causados e a proporção de pessoas que podem ter a saúde afetada pela poluição sonora, incluindo doenças como: deficiências cognitiva, distúrbios do sono, zumbido e aborrecimento.

FIGURA 01 – GRAVIDADE DOS EFEITOS DO RUÍDO NA SAÚDE.



FONTE: Adaptada de BABISCH (2002); WHO (2011); HAMMER, SWINBUR, NEITZEL (2014).

Para Basner et. al. (2014), mesmo com capacidade de medição precisa e a possibilidade de cálculos dos níveis de exposição, a sociedade continua negligenciando a poluição sonora e os possíveis efeitos indesejáveis.

4.3 EFEITOS DO RUÍDO NOS ANIMAIS

Para Nemeth et. al. (2013), os animais que vivem nos centros urbanos adaptam o seu hábito para este novo ambiente e a poluição sonora adiciona um desafio para o modo de vida, interferindo na comunicação e detecção dos ruídos.

O ruído gerado nas cidades pode ocasionar impactos ambientais como estresse e perturbação dos animais e até mesmo o mascaramento do canto dos pássaros, fazendo com que eles tenham que cantar mais alto para encontrar a parceira para acasalamento. Estas condições podem gerar impactos negativos e até mesmo positivos, neste último, quando uma espécie toma vantagem do declínio de outra (SLABBEKOORN; HALFWERK, 2009).

4.4 RUÍDO INDUSTRIAL

Para Richards, Westcott e Jeyapalan (1979), Mendonça e Leite (2019) os níveis sonoros gerados pela indústria depende de condições específicas do processo industrial e da planta de trabalho, como:

- Características do maquinário, ruído contínuo ou impulsivo;
- Densidade dos equipamentos, incluindo condição de reverberação existente e;
- Método de trabalho, incluindo a taxa de repetição da atividade.

Outra característica relevante do ruído industrial é o padrão dos níveis sonoros gerados, onde não há significativa diferença do ruído gerado entre períodos noturno ou diurno (MENDONÇA; LEITE, 2019).

É notável a diversidade de parâmetros para a avaliação do ruído industrial que possui minúcias e características que extrapolam a interface de causa e efeito do ruído gerado.

Kuehner (2007) procurou avaliar estas características por meio de estudo do impacto do ruído industrial na comunidade. Ele considerou que o ruído industrial, comercial e de tráfego proporciona condições de aborrecimento semelhantes, no entanto, há diferenças quando o ruído é de característica impulsiva, que é mais incômodo. Além disso, Kuehner (2007) considera alguns meios para evitar reclamações da comunidade, caso o NPS ultrapasse o critério legal, o ruído intermitente deve ser prioritário e as ações nos demais ruídos não devem permitir que o ruído intermitente seja dominante. Em paralelo, a comunidade deve ser envolvida nas atividades implementadas.

Cabral (2012) desempenhou atividade de avaliação e pesquisa da fonte de ruído e vibração em indústrias, a partir da análise do espectro do ruído e da vibração para determinar quais componentes dos equipamentos eram responsáveis pela geração do ruído. Para o ruído de prensa, Cabral (2012) concluiu que o ruído majoritário é gerado pelo impacto das ferramentas, seguido pela vibração estrutural e para atenuar o ruído considerou a instalação de uma cabine acústica no equipamento e sapatas de amortecimento.

Casas et al. (2014) avaliou o ruído em uma indústria de autopeças e a propagação para o ambiente externo por meio de medições em 02 perímetros diferentes da indústria. As faixas de perímetro foram:

1. Na fachada do prédio para calibrar os valores do NPS da fonte e;
2. No limite de cercamento para avaliar a participação do ruído de fontes externas no NPS da fonte estudada.

Ainda Casas et al. (2014), com os dados de medição estabeleceu a simulação da propagação do ruído e identificou que o ruído da indústria ultrapassa o limite para região, propondo a instalação de barreiras acústicas.

Azevedo (2003) analisou e buscou identificar os mecanismos que geram ruído em prensa excêntrica e conclui que as fontes deste ruído são:

- A própria atividade de estampagem, desde a aceleração até a fratura do material, gerando um NPS médio acima de 16 dB das outras fases;
- O ruído gerado da vibração estrutural da prensa, principalmente na subida do martelo com NPS médio acima de 08 dB das outras fases;
- Após o impacto da ferramenta, as fontes sonoras que se destacam são o martelo, cabeçote e coluna, em razão da vibração gerada na aceleração e desaceleração.

Guarnaccia, Quartieri e Ruggiero (2014) realizaram simulações de ruído em uma indústria na Itália, desenharam os ambientes, consideraram o coeficiente acústico, a posição dos equipamentos e estimaram a potência sonora dos equipamentos. A partir destas informações simularam o ruído de operação para cada equipamento.

Cortivo (2011) avaliou o ruído gerado em uma indústria de celulose e papel instalada próximo a residências. Após campanhas de medições e levantamentos das características construtivas da fábrica e topográficas da região realizou a simulação sonora do ruído industrial e verificou que os níveis estão acima dos critérios de aceitação, propondo ações para minimização.

4.4.1 Prensas

A prensas utilizam chapas metálicas para produção em série, buscando produtividade e eficiência no uso da matéria-prima. Os equipamentos são robustos, de baixa manutenção e, geralmente, não exigem habilidades específicas do operador (BOLJANOVIC, 2004).

As prensas por meio de energia mecânica podem transformar, cortar ou reconstituir um produto. Quando consideramos uma prensa excêntrica a geração desta energia é rápida e o processo ocorre em centenas de milissegundos, causando o impacto e gerando distorções e vibrações no equipamento e piso (RICHARDS, WESTCOTT E JEYAPALAN, 1979; AZEVEDO, 2003).

A estampagem de metais é dividida em dois grupos: processo de corte e deformação. O ruído gerado em processos de corte é mais crítico que o gerado em processos de deformação, que está associada a flexão, estiramento e conformação de peças metálicas (BOLJANOVIC, 2004). O ruído impulsivo é gerado na aceleração e desaceleração dos componentes do equipamento ou na transformação do produto, gerando um ruído de pulso (RICHARDS, WESTCOTT E JEYAPALAN, 1979; AZEVEDO, 2003; MENDONÇA & LEITE, 2019).

4.5 CONTROLE DE RUÍDO

Apesar de existirem técnicas sistêmicas com abordagem de atuação na fonte, no caminho ou no receptor o controle de ruído requer ações específicas conforme as características do problema (CROCKER, KESSLER, 2018). Conforme Bistafa (2011) a medida adotada para controle do ruído deve ser consistente com os aspectos econômicos, operacionais, legais, médicos, psicológicos e culturais.

Ainda de acordo com Crocker e Kessler (2018), para cada interface existem opções específicas para controle do ruído que podem variar conforme a característica do problema, abordado no quadro 02.

QUADRO 02 – CONTROLE CONHECIDO PARA INTERFACE DE RUÍDO
(continua)

INTERFACE	ABORDAGEM	ATIVIDADE
Redução na fonte	Substituir a fonte	Aquisição de equipamento mais modernos.
	Alterar a forma de trabalho	Redução da aplicação de força, ajustes nas partes móveis, realizar manutenção e uso de absorvedores.
	Reduzir a resposta	Uso de amortecedores.
	Alterar a emissões das ondas sonoras	Instalação de painéis isolantes na origem.
	Padronizar o trabalho	Programação de operações coordenadas ou a redução das atividades noturnas.

QUADRO 02 – CONTROLE CONHECIDO PARA INTERFACE DE RUÍDO
(conclusão)

INTERFACE	ABORDAGEM	ATIVIDADE
Caminho	Planejar a instalação	Critérios acústicos no planejamento de leiaute.
	Alterar as emissões das ondas sonoras	Uso de barreiras para atenuar o ruído
		Uso de módulos de enclaururamento
		Aplicação de silenciadores ou absorvedores
		Uso de isolantes de vibração.
Receptor	Proteger	Protetores auditivos.
		Rodizio ou isolamento dos colaboradores.
	Comunicação	Melhorar o relacionamento com comunidade

FONTE: Adaptada de Crocker e Kessler (2018).

Para o ruído ambiental a abordagem no receptor possui limitações, mas quando busca soluções para controle de ruído em uma indústria, geralmente, atua-se nos três sistemas, buscando um equilíbrio econômico (BISTAFA, 2011).

As pessoas que estão expostas a ruídos ambientais reagem de forma individual e variada conforme a ocasião, desde a ausência de reclamações ao envolvimento comunitário para a mesma intensidade sonora (KUNZ, 2009).

Uma forma eficaz de diagnosticar e prever melhorarias para o ruído fabril é por meio da elaboração de mapas, que permitem clarear o problema, identificar oportunidades e comparar soluções para o controle da poluição sonora (ZANNIN, 2016).

4.6 REQUISITOS LEGAIS E NORMAS DE REFERÊNCIA

A legislação brasileira para ruído ou poluição sonora, apesar de incipiente quando comparado a padrões internacionais, precisa ser considerada nos estudos ambientais e atendida durante a execução da atividade.

Os requisitos aplicáveis ao ruído possuem abrangência federal, estadual e municipal. Enquanto as normas, quando não citadas nos requisitos legais, atuam como recomendação técnica ou boas práticas.

4.6.1 Requisitos federais

Considerando a esfera federal somente 02 requisitos federais são pertinentes e relevantes ao controle de ruído.

a) Resolução CONAMA 01/90

A resolução CONAMA nº 01 de 1990 dispõe sobre regras para emissão de ruído em, dentre outras, atividades industriais. O requisito determina que os limites estabelecidos na ABNT NBR 10151 são seguros para a saúde e para o bem-estar da população e, portanto, o nível de pressão sonora especificado nesta norma não pode ser ultrapassado.

As restrições estabelecidas para gerenciar o ruído ambiental aborda o local, o horário e a característica da atividade geradora, buscando assegurar o desenvolvimento da atividade e o bem-estar da população (BRASIL, 1990).

b) ABNT NBR 10151

Norma de 31 de maio de 2019 que revisou tecnicamente a ABNT NBR 10151:2000. Esta NBR é reconhecida como um requisito legal por estar citada na Resolução CONAMA 01/90. A NBR 10151 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) determina critérios para avaliar o ruído gerado por meio da padronização da forma de medição, determinando critérios de avaliação e, quando aplicável, correções de acordo com as características do ruído.

Determina que o nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderada em A e integrado em um intervalo de tempo deve ser expresso por $L_{Aeq, T}$. Onde “T” representa o tempo de integração do nível sonoro.

Para ruído com característica impulsiva exige-se o acréscimo de 5 dB(A) ao valor do $L_{Aeq, T}$ medido para determinar o nível corrigido (L_R) do ruído emitido. Enquanto para ruído contínuo, intermitente ou sem componentes tonais o L_R é o próprio NPS equivalente (L_{Aeq}).

Após o levantamento de dados a avaliação ocorre comparando o L_R com os limites de níveis de pressão sonora do local (RL_{Aeq}). O RL_{Aeq} é estabelecido conforme a característica do uso e ocupação do solo, associado ao período diurno ou noturno. Destaca-se que quando há uma avaliação de ruído específico o nível de pressão sonora deve ser expresso como $L_{Aeq(específico)}$ (ABNT, 2019).

4.6.2 Requisitos legais do estado do paraná

Quando considerado os requisitos de relevância estadual, não foram verificados regulamentos relevantes ao tema. Verificou-se um enfoque no ruído gerado por veículos, seja pelo uso som ou pelo próprio ruído do motor, níveis

sonoros no cinema e a Portaria nº 223 de 04/12/2017 que melhor aborda sobre poluição sonora e ruído, mas mantém citação direta aos critérios previstos na Resolução CONAMA nº01, de 08 de março de 1990.

4.7 REQUISITOS LEGAIS DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS

Os limites de níveis sonoros (RL_{Aeq}) para avaliação do impacto de ruído estão estabelecidos pelo zoneamento do município, associado à Lei municipal específica para ruído estabelecida de forma similar a NBR 10151/2019, versando sobre parâmetros urbanísticos e a implantação de determinados usos do solo.

a) Zoneamento

De acordo com a Lei Complementar nº 107, de 19 de abril de 2016, que dispõem o uso e ocupação do solo, o município foi dividido em zonas residências, industriais, comerciais e outras que estão sujeitas a critérios de ocupação e desenvolvimento.

As zonas Industriais e de serviços são áreas de uso predominante das indústrias, entretanto as indústrias podem ser instaladas em outras áreas desde que atendam condicionantes conforme o uso permissível. No caso industrial, o uso permissível, está associado ao potencial de geração do incômodo, que é classificado conforme o quadro 03 (SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, 2016).

QUADRO 03 – CLASSIFICAÇÃO DAS INDÚSTRIAS.

CLASSE	COMENTÁRIOS
01	Compatível com uso residencial, não gera incômodo ao entorno
02	Pode gerar baixo incômodo ao entorno
03	Tem potencial de gerar incômodo de médio impacto
04	Alto potencial de geração de incômodos

Fonte: Adaptado da Lei Complementar nº 107, São José dos Pinhais (2016).

b) Lei nº 1319, de 05/12/2008

Os limites municipais para avaliação do ruído em comunidade foram estabelecidos em Lei Municipal nº 1319, de 05 de dezembro de 2008, que dispõe sobre ruídos urbanos e proteção do bem-estar e do sossego público.

Os limites para ruído são definidos conforme o período do dia e o uso do solo, sendo semelhante a NBR 10151 (SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, 2008). O quadro 04 compara os horários estabelecidos na Lei nº 1319 e na NBR 10151.

QUADRO 04 – COMPARAÇÃO DE PERÍODO ENTRE REQUISITOS

PERÍODO	HORÁRIO	
	NBR 10151	Lei Municipal nº 1319
Diurno	07:00 até as 22:00	07:00 até as 22:00
Noturno	22:00:01 até 06:59:59	22:00:01 até 06:59:59

Fonte: Adaptado da ABNT (2019) e São José dos Pinhais (2008).

4.8 NORMAS TÉCNICAS UTILIZADAS NESTE TRABALHO

As normas ISO não possuem rigor legal, são elaboradas por comitês que padronizam atividades específicas. A ISO 9613-2 de 15 de dezembro de 1996 abrange uma lacuna entre a fonte e o ruído ao ar livre (ISO, 1996).

a) ISO 9613-2

A norma 9613-2 da Organização Internacional para Padronização (ISO) (1996) comenta sobre a atenuação do som, durante a propagação no ar livre e a atenuação por mecanismos físicos a fim de prever os níveis de ruído distante da fonte, obtendo uma acuracidade estimada quando calculado de ± 3 dB.

Apesar do método ter sido emitido em dezembro de 1996, ele continua atual e pode ser aplicado para situações de tráfego rodoviário, fontes de ruídos industriais, de construção e outras atividades ou ruídos terrestres.

O método considera o L_{Aeq} de fonte pontual ou um conjunto de fontes, seja fixa ou móvel, com padrões específicos que precisam ser conhecidos, pois serão utilizados nas equações de propagação do som.

Para prever os níveis de ruído é necessário caracterizar o ambiente de estudo, a partir da definição de algumas características, como:

- Características geométricas das construções e das fontes;
- Coeficiente de absorção atmosférica;
- Coeficiente de reflexão do som na superfície do solo.
- Reflexão da superfície dos edifícios;
- Triagem por obstáculo;
- Triagem por tipos de ocupação do solo e;
- Fator de correção meteorológica.

5 METODOLOGIA

Para a busca dos objetivos o autor realizou um estudo de caso, avaliando o ruído gerado em uma indústria metalomecânica de grande porte, identificando as fontes significativas e propondo ações para a atenuação sonora.

Para a realização deste trabalho o nome da empresa foi preservado, conforme acordo de confidencialidade para acesso na indústria e o uso dos dados.

5.1 ESTUDO DE CASO

Estudo de caso foi realizado entre outubro/2017 a setembro/2019. A empresa com cerca de 900 funcionários fábrica anualmente cerca de 20.000 toneladas de peças destinadas para a produção de veículos como caminhões, ônibus, tratores agrícolas e da construção civil. A instalação da empresa ocorreu em 1971, em região afastada de vizinhos e com boa infraestrutura para acesso.

Após 48 anos a organização continua no mesmo local, mas nesse período houve grandes mudanças nas instalações, nos produtos fabricados, no parque industrial e na região, com o crescimento desordenado da cidade.

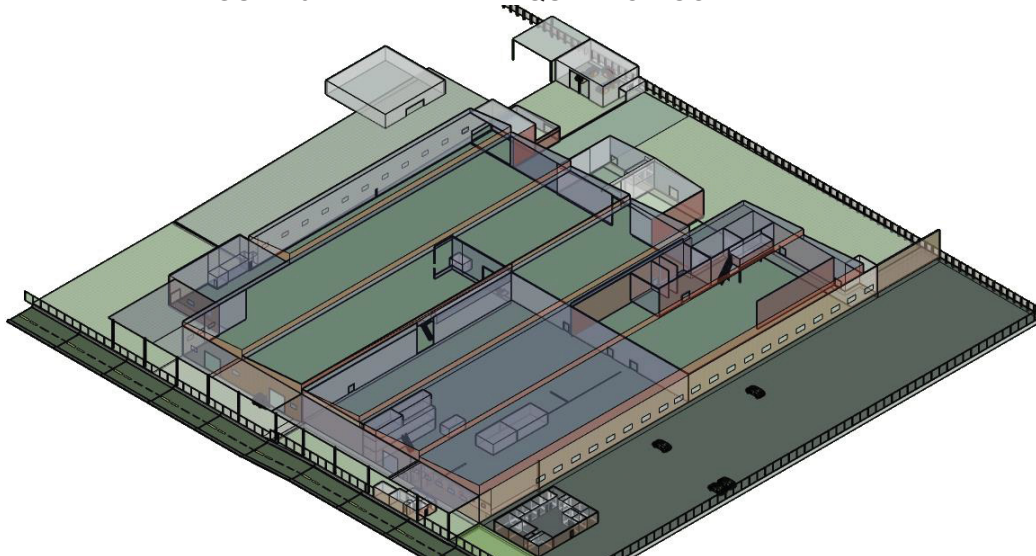
De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010) e a Secretaria Municipal de Planejamento e Desenvolvimento Econômico de São José dos Pinhais (2019) o bairro onde está instalada a indústria em questão, possuía em 2010 cerca de 10.119 moradores e para 2019 há uma estimativa de aumento da população em cerca de 22,4% em relação ao ano de 2010.

5.1.1 Arquitetura da planta industrial

A Indústria construída em alvenaria possui distância vertical do piso ao teto de até 13 metros em um complexo industrial dividido em pavilhões com 20 metros de largura cada, conforme figura 02 que detalha a planta industrial.

Desde o início das atividades, houve 03 grandes ampliações onde foram construídos novos galpões. A parte antiga, construída na década de 70, possui paredes duplas com espessura de 300 mm. As partes construídas posteriormente respeitaram os critérios arquitetônicos de fachada, mas as novas paredes construídas tiveram a espessura reduzida para 150 mm.

FIGURA 02 – DETALHE ARQUITETÔNICO DA PLANTA



FONTE: Do autor (2019).

As paredes externas, construídas em alvenaria, possuem altura variando de 06 a 09 metros. O restante da fachada é complementado com telhas, para proteção contra as intempéries do tempo.

5.1.2 Área de ocupação da indústria no município

Conforme a Lei Complementar nº 107, de 19 de abril de 2016 que estabelece o zoneamento, a indústria está localizada em uma zona residencial 04 destinada ao uso habitacional, com possibilidade de outros usos. A Lei nº 107 categoriza as atividades industriais em 04 níveis de geração de impacto ao entorno. Considerando estas classes, a indústria em questão é classificada como Indústria 3 com potencial de geração de incômodos de médio impacto.

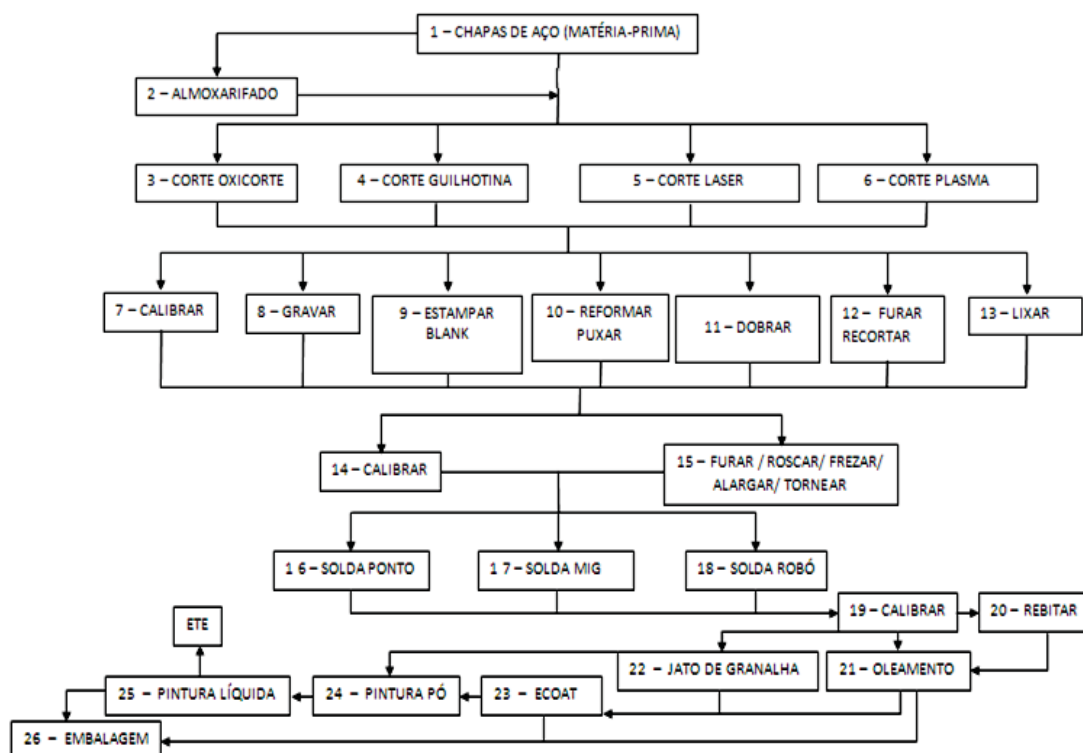
Com esta classificação a indústria não poderia realizar atividades na região em que está instalada. Entretanto a atividade é permissível em consideração ao longo período de instalação e as licenças anteriores emitidas.

Quando considerado a Lei nº 1.319, de 05/12/2008, a área da indústria de estudo de caso é melhor classificada como: Área mista, com vocação comercial e administrativa, sem corredores de trânsito e, portanto, o nível de pressão sonora máximo é 60 dB(A) para o período diurno e 55 dB(A) para o noturno.

5.1.3 Detalhes da indústria

Atualmente a organização dispõe de 21.000 m² construídos em uma área de 51.000 m², cuja atividade produtiva ocorre 24 horas/dia. O processo produtivo da indústria estudada, abrange desde a aquisição da chapa até a entrega ao cliente do produto acabado e pintado, conforme exemplificado na figura 03.

FIGURA 03 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO INDUSTRIAL.



FONTE: Do autor (2018).

A principal matéria prima do estudo de caso é o aço carbono sendo utilizado em chapas planas ou em bobinas, em ambos os casos a espessura pode variar entre 1 mm a 10 mm. A grande diferença é na capacidade produtiva, em que a bobina permite otimizar a fabricação na forma de produção em série.

Geralmente, a chapa plana é processada na guilhotina, que realiza o corte da matéria prima em partes menores, conforme característica do produto que será processado na estamparia. As bobinas são inseridas diretamente no equipamento, conhecido como desbobinador, para serem processadas.

O setor de estamparia é formado por 11 prensas excêntricas e hidráulicas que realizam o estampo, conforme a figura 04, ou o repuxo, conforme a figura 05. Para o processo de estampo as matrizes realizam a fissura do

material, cortando o contorno, fazendo furações e separando as peças da sucata metálica. Este processo ocorre em chapas planas ou bobinas.

FIGURA 04 – FERRAMENTAL DE ESTAMPO REALIZANDO FURAÇÕES



FONTE: Do autor (2018).

O processo de repuxo é realizado somente nas chapas planas que sofrem um dobramento ou encurvamento, conforme características do produto.

FIGURA 05 – FERRAMENTAL DE REPUXO



FONTE: Do autor (2018).

Durante o processo de repuxo a geração de ruído é mínimo, não há impacto da batida e o ruído que poderia ser transmitido por vibração é minimizado com o uso de amortecedores.

Quando considerado o processo de estampo mesmo adotando o uso de amortecedor é facilmente perceptível a geração do ruído. De forma geral, quanto maior a espessura, associado a característica do estampo, maior será a pressão de trabalho e em consequência maior o NPS gerado.

Para minimizar a geração do ruído, a organização escalona os punções por meio da implementação grau de cisalhamento que realiza a fratura progressiva na chapa de aço ou o corte em diferentes estágios, no mesmo ciclo de estampo. Desta forma, ocasiona um impacto de corte mais longo e com menor força ou ocorre vários impactos menores, até o término do ciclo.

5.1.4 Leiaute fabril

O leiaute fabril com detalhes e equipamento é um segredo industrial e não pode ser divulgado, entretanto é possível detalhar as áreas de interesse.

As áreas de interesse estão associadas a criticidade do equipamento em relação a intensidade do ruído gerado. Para definir os equipamentos críticos levou-se em consideração a historicidade e levantamento primário simplificado do parque fabril, onde conheceu-se todos os equipamentos disponíveis na planta e identificou os equipamentos mais ruidosos.

5.1.4.1 Localização da prensa 600 Ton.

O equipamento fixo mais crítico é uma prensa excêntrica com capacidade de 600 toneladas que opera com uma desbobinadeira, que permite uma alta frequência de produção e operação automática, conforme a figura 06.

FIGURA 06 – PRENSA 600 TONELADAS



Fonte: Do autor (2018).

Trata-se de um equipamento de grande porte, com mais de 06 metros de altura, 40 toneladas de massa e, no mínimo, 03 operadores. A figura 07 aborda a localização da prensa no complexo industrial, nesta figura pode ser verificado ainda as diversas aberturas existentes na fachada do prédio, como janelas e portas que dão acesso direto a área da vizinhança.

FIGURA 07 – POSIÇÃO DA PRENSA 600 TON



FONTE: Do autor (2019).

A prensa de 600 ton está localizada no segundo pavilhão da planta e o quadro 05 destaca as distâncias da prensa em relação a pontos de interesse.

QUADRO 05 – DISTÂNCIAS DE INTERESSE EM RELAÇÃO A PRENSA 600 TON.

PONTOS DE INTERESSE	DISTÂNCIA EM METROS
Parede divisória da fachada	20
Limite territorial da planta – Divisa	30
Residência vizinha	40

FONTE: Do autor (2019).

5.1.4.2 Região de movimentação de empilhadeira na área externa

Os insumos utilizados na produção e os produtos fabricados são corpulentos que exigem grandes esforços para transporte, situação característico da matéria prima essencial o aço carbono. Está condição exige o uso de transportadores resistentes e de grande capacidade de carga que transportam inclusive embalagens específicas para acondicionar o produto.

Conforme apresentado na figura 08, que aborda a região de movimentação de empilhadeira na área externa, verifica-se que a fonte móvel

realiza o traslado de contorno do complexo industrial próximo à divisa territorial da planta.

FIGURA 08 – REGIÃO DE MOVIMENTAÇÃO DA EMPILHADEIRA



FONTE: Do autor (2019).

5.1.5 Reclamações existentes

A indústria cedeu o acesso a um histórico de 10 anos de registros das reclamações da comunidade, que de acordo com a indústria foram obtidas por meio verbal ou escrita. Todas as reclamações estavam tabuladas em planilha eletrônica que permitiram extrair informações relevantes a este trabalho. Estas reclamações ocorreram nas mais variadas condições, mas existe uma uniformidade em horários e dias da semana, conforme detalhado no quadro 06. Destaca-se que não há autorização para informações quantitativas.

QUADRO 06 – DETALHES DO HISTÓRICO DE RECLAMAÇÕES

Dia	Horário
Segunda a Sexta-feira	21:00 as 07:00 horas
Sábado	15:00 as 19:00 horas
Domingos e feriados	06:00 as 09:00 horas

FONTE: Adaptado do acervo da indústria (2018).

Outras reclamações, com menor intensidade e frequência, são ocasionadas por ruídos gerados nos seguintes equipamentos ou atividades:

- Torre de resfriamento;
- Alarmes sonoros dos equipamentos ou tanques;
- Válvulas de alívio de tanques sob pressão;

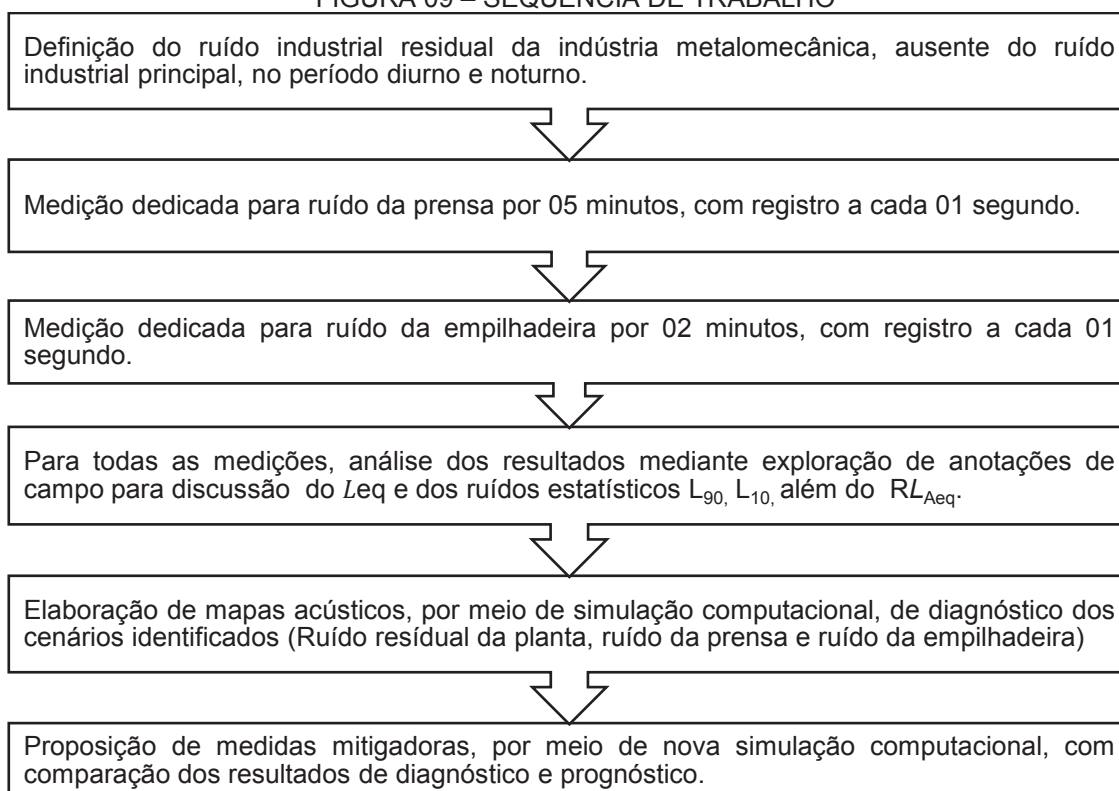
- Estacionamento e circulação de veículos, inclusive som alto e;
- Quedas ou batidas de peças metálicas.

Considerando todo o histórico de reclamações, verifica-se que áreas específicas da comunidade concentram praticamente todas as reclamações registradas pela organização, situação associada a própria localização dos equipamentos críticos, origem das reclamações.

5.2 SEQUÊNCIA DE TRABALHO

Para a busca dos objetivos, traçou-se um plano de trabalho com a sequência das atividades, no estudo de caso, conforme detalhado na figura 09.

FIGURA 09 – SEQUÊNCIA DE TRABALHO



Fonte: Do autor (2018).

5.2.1 MEDIÇÕES

As medições foram realizadas em pontos estratégicos da organização conforme potencialidade do incômodo a vizinhança no horário da medição.

Portanto, pontos críticos de medição foram determinados em razão do histórico de reclamações e localização dos equipamentos relevantes.

5.2.2 Medição ruído industrial residual noturno

De acordo com a ABNT NBR 10151 (2019) medições do nível de pressão sonora de um ruído residual ocorre ausente das fontes específicas avaliadas, que neste caso, são os ruídos gerados pela prensa e empilhadeira.

A medição do ruído industrial residual noturno ocorreu, sob condições normais de operação, nos dias 05 e 06 de outubro de 2018 a partir das 23:40 horas até as 01:40 hora. O intervalo de 02 horas foi suficiente para realização das medições em 08 pontos de interesse, conforme a figura 10, que abrange o contorno de todo o perímetro da edificação.

A localização dos pontos de medição ocorreu priorizando a exposição as fontes de ruído da planta, próximo as portas ou equipamentos ruidosos. Igualmente houve uma ênfase de pontos de medição na face com maior concentração de vizinhos e registros de reclamações.

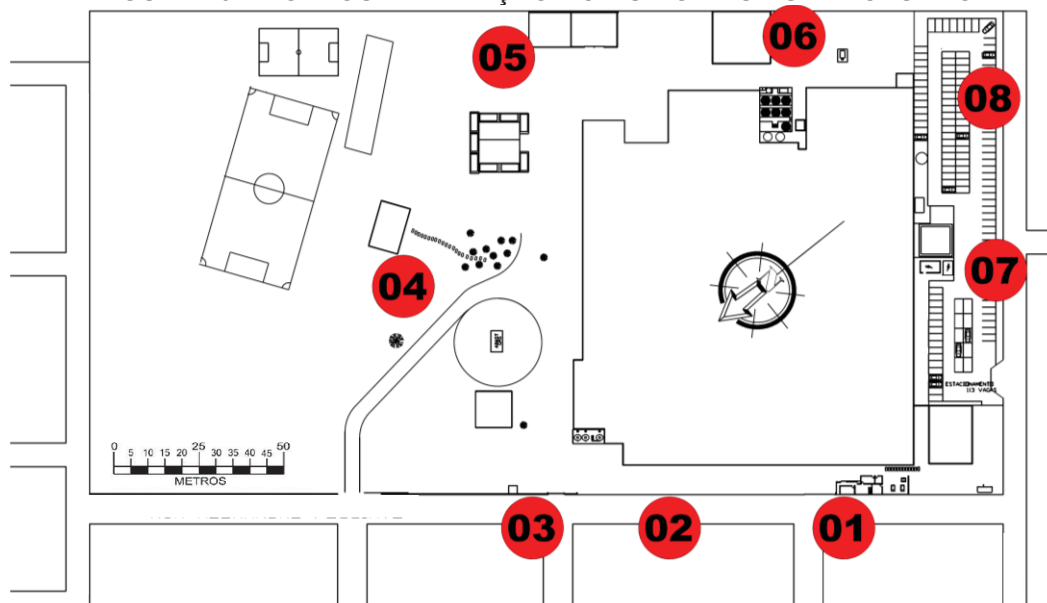
Para cada ponto foram realizadas medições de 05 minutos com o equipamento de medição para registro a cada 05 segundos. O período de 05 minutos de monitoramento foi suficiente para medir o ruído gerado pela indústria no ponto em questão, pois o processo é retilíneo, não apresentando variações que justifiquem intervalo de medição maior, garantindo, portanto, abrangência em todos os ruídos habituais gerados.

Os valores coletados nas medições permaneceram registrados no equipamento e posteriormente foram compilados em planilha de *Excel*. Dos dados obtidos foi possível calcular o L_{Aeq} e os valores estatísticos L_{90} e L_{10} de cada ponto avaliado.

Para realizar as medições buscou-se minimizar as influências externas, garantindo a captação do ruído da fonte de interesse. Desta forma, as medições são registradas em *datalogger* e as anomalias, que poderiam interferir no resultado, como passagem de veículos na via, foram anotados em caderno de campo.

Destaca-se que as atividades do período noturno, não contemplam o uso de prensas ou empilhadeiras na área externa.

FIGURA 10 – PONTOS DE MEDIÇÃO DO RUÍDO RESIDUAL NOTURNO



Fonte: Do autor (2018).

Os pontos 01, 02 e 03 foram definidos pois abrangem a área de conflito e de reclamação da comunidade, permitindo determinar o NPS na região de maior incômodo. Além disso, os pontos 01 e 02 estão a cerca de 15 metros de portas abertas que dão acesso a área fabril e o ponto 03 próximo à área de maior concentração de moradores e equipamentos externos.

O ponto 04 é apenas para referência, trata-se de um campo aberto, distante de equipamentos ruidosos e residências, além do baixo potencial de incômodo. A partir desta medição é possível balizar para áreas mais distantes e com residências.

A localização do ponto 05 foi determinado em função da ocorrência de ruído facilmente percebido na área externa, gerado por equipamento de corte plasma, cuja operação ocorre 24 horas/dia. O ponto foi posicionado o mais próximo possível do limite territorial da indústria, para melhor determinar o possível impacto para o vizinho.

O ponto 06 também está no limite territorial da indústria, possui relevância pois está próximo ao compressor que possui válvulas e captosres de ar, que operam 24 horas/dia e geram ruído característico.

Os pontos 08 e 07 foram determinados apenas para referência, pois na região não há equipamentos geradores de ruído e a via é de grande fluxo de veículos durante 24 horas. Entretanto é necessário verificar o potencial de incômodo que as residências instaladas possam sofrer.

5.2.3 Medição do ruído industrial residual no período diurno

A medição do ruído residual diurno ocorreu ausente do ruído de prensa e de empilhadeira na área externa, nos dias 04 a 06 de outubro de 2018, em horários diversos conforme a ocorrência da interrupção nos processos de estamparia e expedição.

A localização dos pontos de medição ocorreu semelhante ao período noturno, priorizando a exposição as fontes de ruído da planta, localização das portas, equipamentos na área externa e movimentação permanente de empilhadeiras. Ainda, de forma semelhante, houve uma ênfase de pontos de medição na face com maior concentração de vizinhos e registros de reclamação. Entretanto, pontos foram complementados para permitir melhor análise do ruído na região de conflito, abrangendo áreas afastadas da indústria.

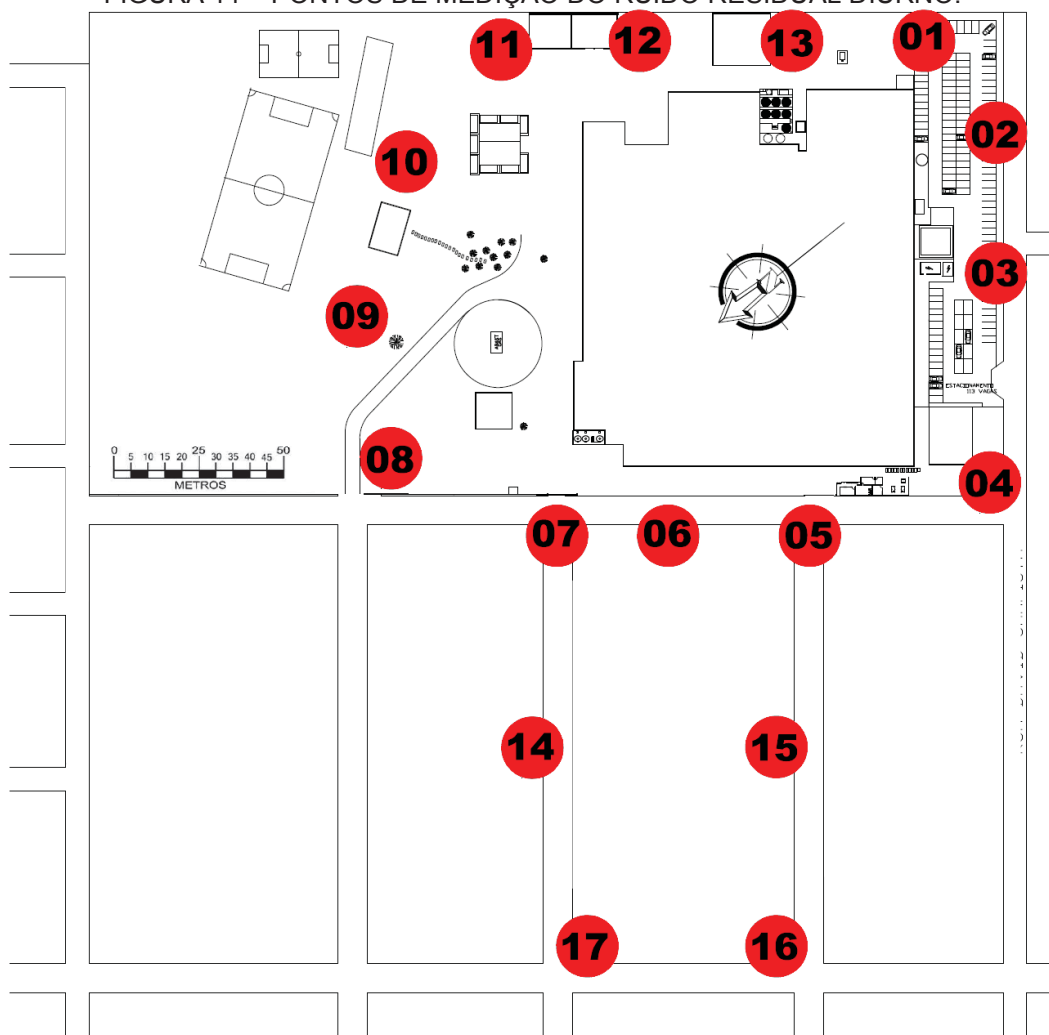
Para cada ponto, foram realizadas medições instantâneas em período de no mínimo 08 minutos, com coleta de dados a cada 05 segundos. O período de monitoramento foi suficiente para medir o ruído gerado pela indústria no ponto em questão, pois tem abrangência em todos os ruídos habituais gerados pela planta.

Os 17 pontos de contorno foram determinados com maior incidência na região da zona de conflito, conforme apresentado na figura 11.

Os valores coletados nas medições permaneceram registrados no equipamento e posteriormente foram compilados em planilha de *Excel*. A partir dos valores, foi possível calcular os valores estatísticos L_{Aeq} , L_{90} e L_{10} de cada ponto avaliado sem a presença da fonte principal e, portanto, nesta condição, caracterizar o ruído de fundo da indústria.

Para realizar as medições foi necessário minimizar as influências externas, garantindo a captação do ruído da fonte de interesse. Desta forma, as medições foram registradas em *datalogger* e as possíveis anomalias que poderiam interferir no resultado, como passagem de veículos na via, foram registrados em caderno de campo.

FIGURA 11 – PONTOS DE MEDIÇÃO DO RUÍDO RESIDUAL DIURNO.



Fonte: Do autor (2018).

5.2.4 Ruído da prensa

Por tratar-se de uma fonte com característica de impacto o ruído da prensa é penalizado em 05 dB. Desta forma, é somado 05 dB no ruído equivalente obtido durante a amostragem (ABNT, 2019).

Para garantir uma amostragem satisfatória, que contemple todos os ciclos da prensa, a medição ocorreu por 05 minutos com registro a cada 01 segundo. O ruído gerado pelo impacto da prensa está contemplado durante todo o período de medição, conforme a frequência do ciclo.

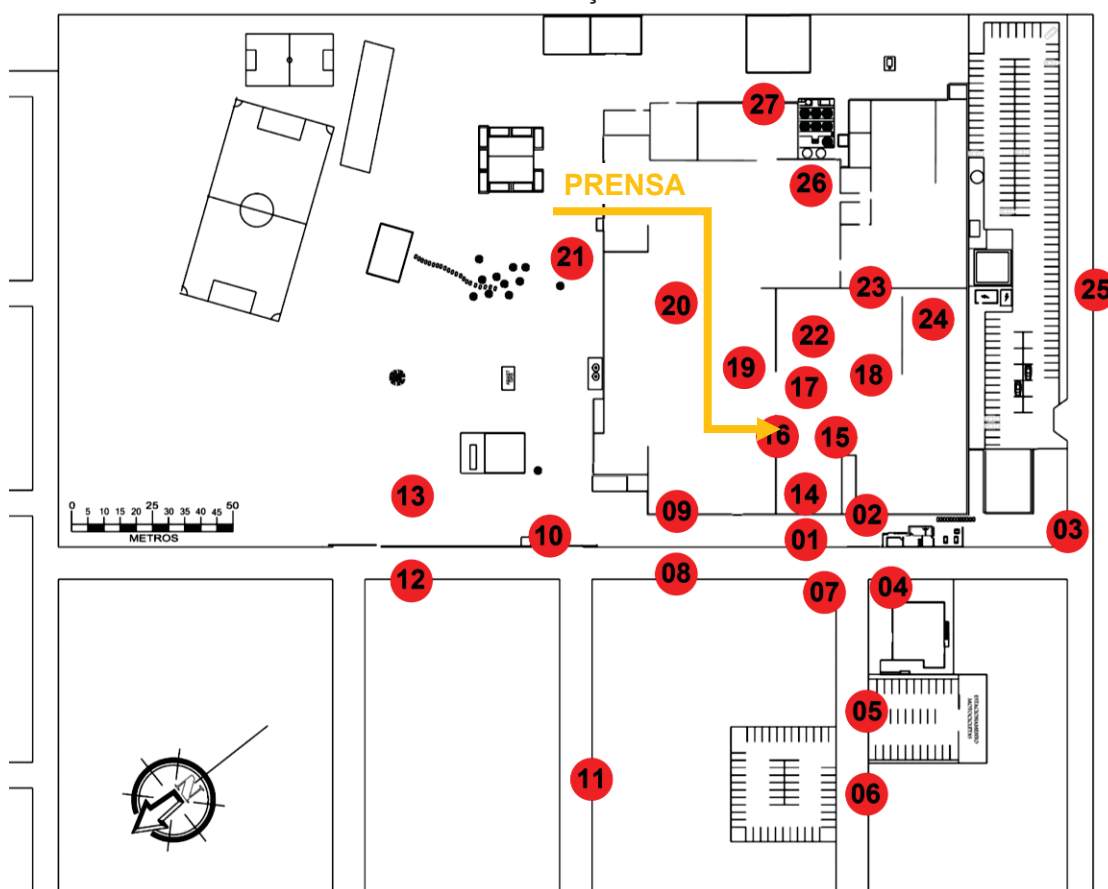
Caso durante a medição fosse detectado ruído intrusivo ou a interrupção do ciclo produtivo na prensa, o registro era interrompido, sendo imediatamente reiniciado após o término do ruído estranho ou o reestabelecimento do ciclo produtivo.

A medição do ruído da prensa ocorreu em julho, no dia 11/09/2019 entre 09:30 até 11:00, e em setembro, entre os dias 20/09/2019 a 23/09/2019, a partir das 08:00 até as 17:00 horas, com a mesma peça de estampo. A peça escolhida para realizar o diagnóstico do ruído é uma das mais críticas, pois além de apresentar uma grande frequência, gerar um elevado nível de pressão sonora.

O monitoramento ocorreu em 27 pontos, conforme a figura 12, que aborda a localização dos pontos avaliados. Optou-se por essa quantidade de pontos para a elaboração dos mapas, permitindo a melhor verificação do modelo e abrangência de dados em todas as faces do prédio. Cobriu preferencialmente o entorno do equipamento, a fachada e as ruas próximas a prensa, em áreas internas com barreiras divisórias, próximo as portas com acesso a área externa e em locais sem muita interferência do ruído da prensa.

Não foi necessário repetir as medições, pois o ruído gerado na prensa não apresenta oscilações que justifiquem uma nova campanha de medição e as anomalias identificadas foram removidas durante a medição.

FIGURA 12 – PONTOS DE MEDIÇÃO DO RUÍDO DA PRENSA



Fonte: Do autor (2019).

5.2.5 Ruído da empilhadeira

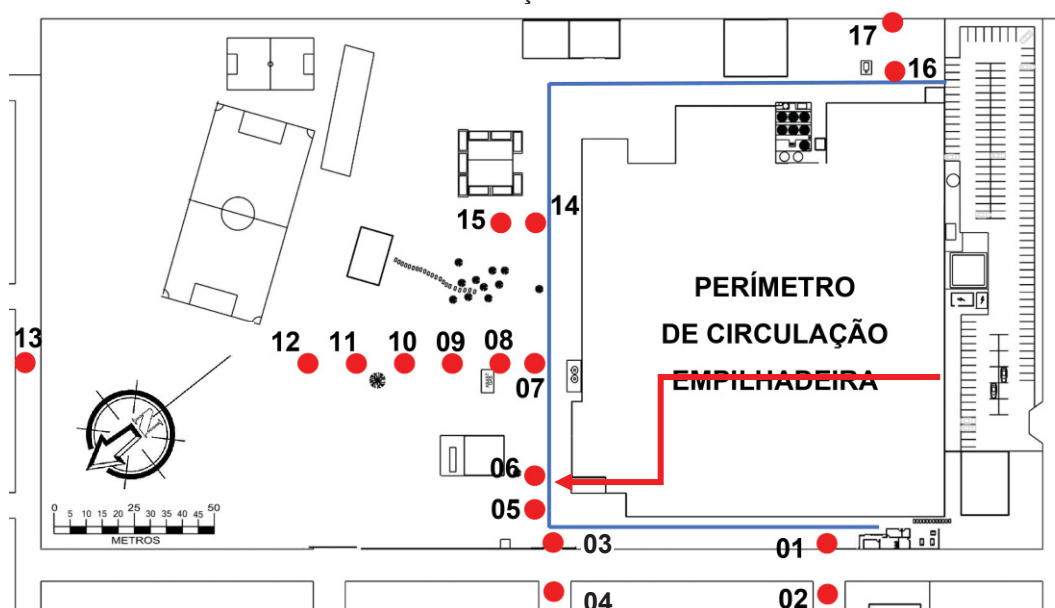
A medição do ruído da empilhadeira ocorreu no perímetro de circulação do equipamento no dia 11/07/2019 e nos dias 26 a 30/08/2019. A medição ocorreu ausente dos demais ruídos e caso fosse detectado ruído intrusivo a medição era interrompida e reiniciada após o término do ruído externo.

A campanha de medição ocorreu com medições de no mínimo 02 minutos com registro a cada 01 segundo. Destaca-se que esse período de amostragem é suficiente para caracterizar o ruído da empilhadeira, que possui padrões de emissão que está associado a característica do produto transportado, da condição do piso e da velocidade de operação.

Para melhor diagnosticar o ruído e propor ações, toda a medição foi realizada nas mesmas condições de velocidade e com o mesmo produto transportado. O piso em bloco de concreto pré-moldado se mantém em toda a área de circulação da empilhadeira, não tendo variações significativas.

O monitoramento ocorreu em 17 pontos conforme a figura 13, que aborda a localização dos pontos. O monitoramento ocorreu em todas as faces de circulação, com pontos de medição variando de 02 a 150 metros da fonte. Nas dependências da empresa a extensão da medição foi ampliada para até 150 metros de distância da empilhadeira, em razão da possibilidade de controlar as fontes de ruído intrusivo.

FIGURA 13 – PONTOS DE MEDIÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA



Fonte: Do autor (2019).

5.2.6 Equipamento utilizado

As medições foram realizadas em 03 equipamentos com características e aplicações diferentes. Foi utilizado um sonômetro, Akrom KR843 especificado conforme IEC 60651 tipo 2, com precisão de 1,5 dB para a medição e registro em *datalogger* dos pontos de referência das seguintes fontes:

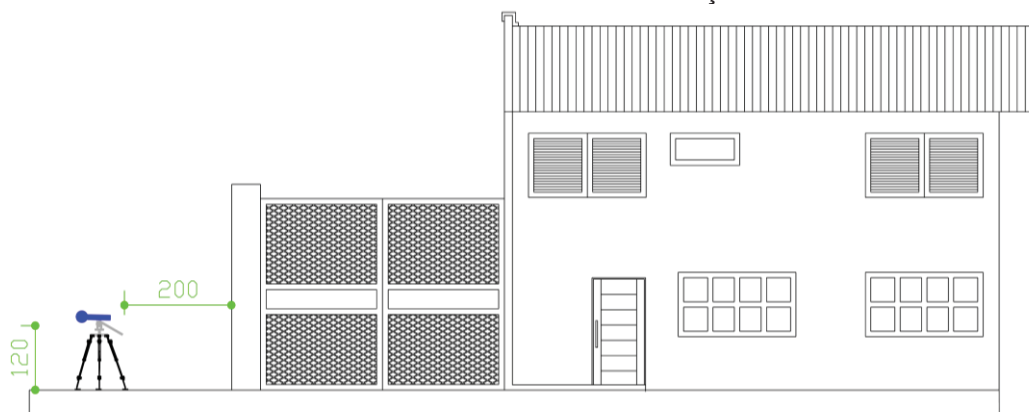
- Ruído noturno, considerando a fonte industrial em estudo;
- Ruído diurno, residual da fonte industrial em estudo;
- Ruído da prensa excêntrica 600 toneladas e;
- Ruído da circulação de empilhadeira na área externa.

Para o uso do sonômetro KR843, foi utilizado o calibrador sonoro CR-2 da Criffer. Equipamento em conformidade com a IEC 60942, classe 1 e precisão de 0,4 dB. O calibrador foi utilizado sempre antes e depois de uma série de medições, inclusive com verificações a cada 1 hora para séries mais longas.

Utilizado ainda 02 analisadores sonoros, Brüel & Kjaer 2270 e Brüel & Kjaer 2250 especificado conforme IEC 60651 tipo 1, para análise de frequência das fontes de estudo. Esse equipamento permite a caracterização do ruído por análise das bandas de frequência, cujos dados obtidos são base de inserção no software de simulação acústica.

Com o equipamento ajustado em circuito de compensação A e modo de tempo rápido as medições de ruído foram efetuadas conforme a NBR 10151/2019 e detalhado na figura 14. As medições externas foram realizadas com o equipamento provido de protetor de vento, sempre apoiado em tripé.

FIGURA 14 – PROCEDIMENTO PARA MEDIÇÃO SONORA



Fonte: Do autor (2019).

5.2.7 Ruído estatístico

Os ruídos estáticos, L_{10} e L_{90} , foram calculados conforme a NBR 13369, da ABNT (1995) que aborda o cálculo simplificado do nível de ruído equivalente contínuo. Os valores registrados em sonômetro com *data logger* são organizados em uma planilha, conforme modelo disponível na tabela 01.

Para obter os ruídos estatísticos os valores medidos em dB(A) são ordenados, de maneira decrescente e após a remoção das duplicidades obtém-se o número de ocorrência do nível de ruído medido. A partir do somatório da frequência absoluta, obtém-se a frequência absoluta acumulada. O resultado da relação entre a frequência absoluta e o número total de registros apresenta o NPS estatístico em porcentagem de incidência. Os valores que mais se aproximarem a 10% e 90% são reconhecidos como L_{10} e L_{90} (ABNT, 1995).

TABELA 01 – MODELO DE PLANILHA PARA CÁLCULO ESTATÍSTICO

Nº	Local	Ruído	Hora	Valores Ordenados dB(A)	Abrangência	Frequência Absoluta	Frequência Absoluta Acumulada	Frequência Relativa (%)	Frequência Relativa Acumulada (%)	Estatístico
1	01	61	1:20:1	60,9	60,9	1	1	1,515	1,52	--
4		49	1:20:35	53,5	53,5	2	3	3,030	9,09	--
5		49	1:20:40	53,5	52,6	1	4	1,515	10,61	L10
6		50	1:20:45	52,6	50,3	1	5	1,515	12,12	--
7		49	1:22:25	50,3	50,2	1	6	7,576	86,36	L90
8		54	1:22:30	50,2	50,1	1	7	6,061	100	--
9		54	1:22:35	50,1						

Fonte: Adaptado da ABNT (1995).

5.2.8 Mapas acústicos

O mapa acústico é realizado por meio de informações detalhadas do cenário atual da indústria, que informa graficamente os níveis de pressão sonora do ruído gerado pela fonte de interesse. Desta forma, mapas acústicos permitem a melhor compreensão do impacto do ruído em uma região de estudo, podendo inclusive auxiliar nas definições das ações para controle ou minimização do NPS, de forma rápida e precisa (SONAVIYA; TANDEL, 2016).

O software usado para confecção dos mapas de diagnóstico e de predição acústica foi o Predictor 8.13 da Brüel & Kjaer disponível no Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA) na UFPR. O Predictor 8.13 é um dos softwares de propagação sonora mais utilizados no

mundo (SONAVIYA; TANDEL, 2016). Permite calcular os níveis de ruído, em função da propagação em diversos pontos de uma região delimitada. Os mapas obtidos fornecem os níveis de ruído conforme uma escala de cores que representam intervalos de níveis sonoros.

A propagação do ruído considera parâmetros do solo, das construções, áreas de vegetação, topografia e outras condições físicas própria do local de estudo, inclusive, tipos de fonte, fatores de correção e outros. Portanto a alteração destas características permite prever o nível de ruído para futuros cenários propostos, como a construção de uma barreira sonora ou enclausuramento de uma fonte.

5.2.8.1 Método de cálculo

O software Predictor 8.13 utiliza modelo de propagação do ruído no ar livre baseado na norma ISO 9613 parte 1: Cálculo de absorção do som pela atmosfera e ISO 9613 parte 2: Método de cálculo geral. Este último é variável em função de característica do local de estudo.

Para análise de fontes fixas foi adotado, no software, o método de cálculo ISO 9613 -1/2 que representa a parte 1 e parte 2 da referida norma. Para análise da fonte móvel foi adotado, no software, o método de cálculo ISO 9613 – 1/2 *Road*, que melhor representa ruídos móveis que possuem características semelhantes a ruído rodoviário. Ao adotar estes métodos o próprio software calcula os níveis de ruído conforme as equações da ISO 9613 – 2.

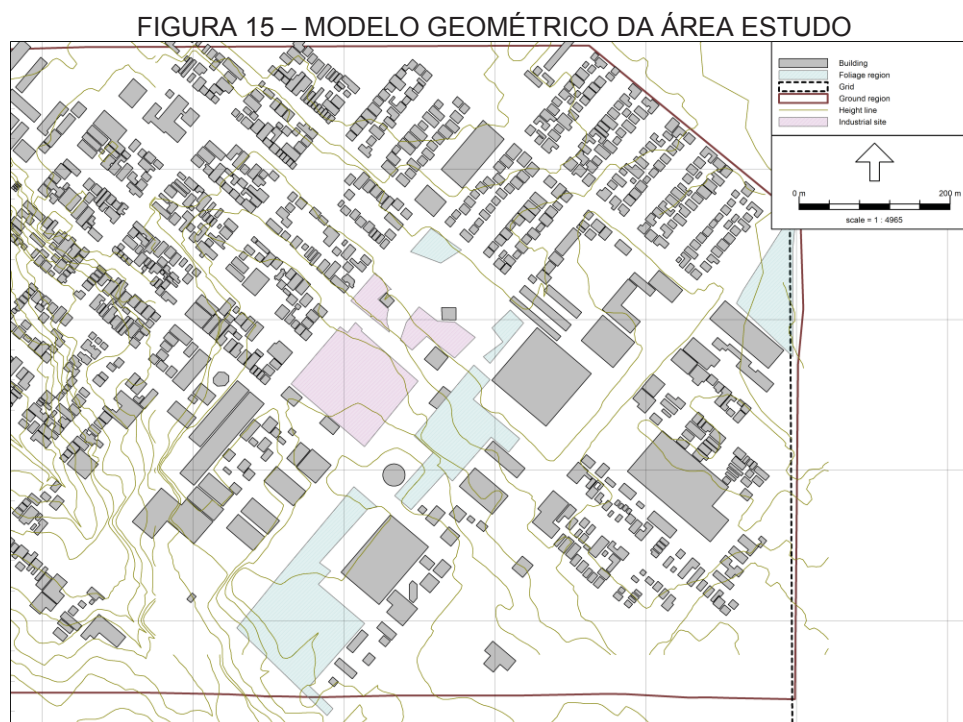
5.2.8.2 Altimetria do terreno

Os dados cartográficos da área de estudo foram cedidos pelo Departamento de Planejamento Territorial e Urbano do município de São José dos Pinhais, que encaminhou os dados da base cartográfica da área, constando o arruamento, quadras, lotes e curvas de nível de 01 em 01 metro.

Os dados obtidos foram tratados com o auxílio do AutoCAD Map 3D 2019, da Autodesk e, posteriormente, a base de dados foi exportada para versão dwg.

5.2.8.3 Modelo geométrico

A base cartográfica do município não dispõe de informações das construções existentes, desta forma foi necessário a síntese manual do perímetro das construções existentes na área de estudo. Com o auxílio do AutoCAD 2019, a base cartográfica foi associada a uma foto aérea obtida com o auxílio do *Google Earth*®, ambos georreferenciados, que permitiu desenhar na base cartográfica as edificações existentes na área de estudo. Além das edificações foi necessário confirmar as informações enviadas pela prefeitura, identificar as áreas com vegetação, campo e bosques, conforme a figura 15.



Fonte: Do autor (2019).

Esta etapa exigiu conhecimento de campo é a inserção manual de uma grande quantidade de edificações. Para obter dados mais próximos possíveis da realidade, os desenhos precisam ser realizados de forma fiel e atenta, devido aos diversos fatores que podem alterar os resultados obtidos em mapeamento sonoro (BOZKURT; DEMIRKALE, 2017).

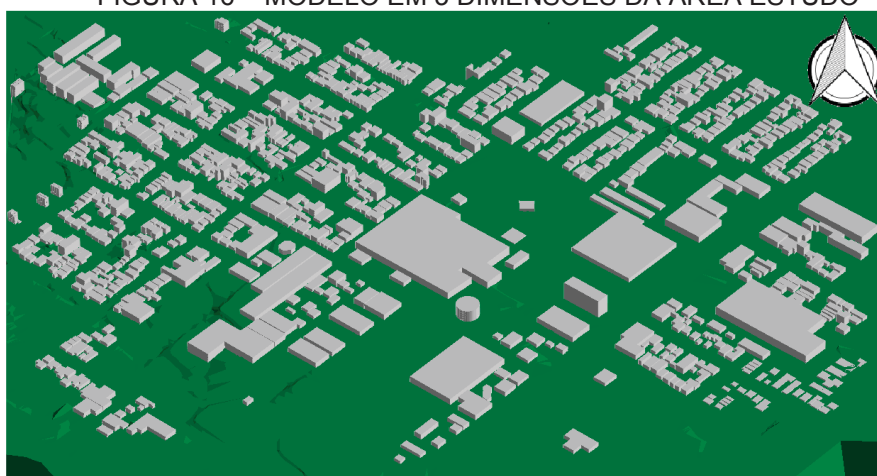
A base de dados foi exportada para dxf, sendo posteriormente importada no software Predictor. Desta forma, já era possível observar as características do terreno estudado e o perímetro das edificações.

5.2.8.4 Características da fonte e região

Para realizar o cálculo de propagação do som ainda é necessário realizar alguns ajustes na base de dados. A principal tarefa é incluir nas edificações as características altimétricas, informação importante para a propagação sonora.

As alturas das edificações foram obtidas com o auxílio do *Google Street View*®, que permitiu verificar a quantidade de pavimentos da construção. Na média, foi adotado 3 metros para cada pavimento, conforme a figura 16.

FIGURA 16 – MODELO EM 3 DIMENSÕES DA ÁREA ESTUDO



Fonte: Do autor (2019).

Também foi especificado o coeficiente de reflexão do som nas edificações. O valor adotado foi determinado entre 0,5 a 1,0 em função da existência de muros, casas em madeiras, vegetação frontal, faces com janela e outras situações (ISO, 1996). O software Predictor, em conformidade com a ISO 9613/1996, dispõe em sua programação uma limitação do coeficiente variando entre 0 a 1, que foi ajustado conforme a característica da edificação.

Foi especificado a altura das áreas com vegetação, fator que também influencia a propagação sonora. A altura média foi estimada a partir de visita no local.

Outra característica definida nesta etapa foi a atenuação do solo, que conforme a ISO 9613/1996, para solos rígidos de asfalto, concreto e similar recebe fator de atenuação zero.

5.2.8.5 Área de cálculo

A área de cálculo é delimitada por uma malha de pontos, chamada de *grid noise map*. Para cada fonte estudada foram estabelecidos 02 grids, horizontal e outro vertical. O grid horizontal foi definido em uma área de 1000 m x 1000 m que compreende 1140 construções. A altura do grid horizontal foi definida em 1,50 m, altura mínima para avaliar a propagação do ruído no ambiente estudado, que possui prédios com altura entre 2,5 a 25 metros (CEDR, 2013).

Adotou-se para a malha horizontal espaçamento de 5 m x 5 m, considerando que para áreas urbanas malhas com espaçamento inferiores a 10 m já são suficientes para garantir boa avaliação em mapas de ruído (CEDR, 2013; BOZKURT; DEMIRKALE, 2017; FLORÊNCIO, 2018; GUEDES, 2005).

Para grid vertical foi adotada a fachada dos prédios mais relevantes para a análise de propagação do ruído. A área do grid vertical se limitou as dimensões do prédio, em comprimento e altura, enquanto o espaçamento da malha foi adotado em 1 m x 1 m, o mais restrito possível, conforme limite do Predictor.

5.2.8.6 Elaboração e calibração do modelo

A partir da caracterização da região e das fontes sonoras é possível inserir, em bandas de oitava, os níveis sonoros obtidos nas medições de campo.

Para os mapas sonoros do ruído residual da planta todo o complexo industrial foi considerado como uma única fonte, enquanto o mapa sonoro do ruído da prensa foi considerado uma fonte pontual na localização georreferenciada do equipamento. Para elaboração do mapa sonoro da empilhadeira foi considerado uma fonte móvel com circuito ao redor da planta.

Para validar o modelo, foram posicionados receptores no mesmo local medidos fisicamente, cujo valor obtido no modelo deve ser o mais próximo possível do valor medido fisicamente. Para confecção de mapas de ruído com boa qualidade é tolerável desvios de até ± 3 dB entre o valor obtido na simulação e os valores da medição de campo (CEDR, 2013).

Assim a realização do mapeamento não considerou exclusivamente dados numéricos, mas incorporou as observações de campo, corrigindo desvios por meio de calibração dos valores verificados (BOZKURT; DEMIRKALE, 2017).

5.2.8.7 Confeção dos mapas acústicos

Para permitir a comparação de mapas foi adotado um padrão de cores para representar os níveis de pressão sonora em uma faixa de 05 dB. Em seguida, foi adotado um template para impressão do mapa finalizado. Considerou escala de trabalho, legendas e espaçamento de referência.

O mapa confeccionado apresenta uma perspectiva acústica detalhada da área de estudo, informando claramente a propagação e o alcance dos níveis de ruído que extrapolam os limites permitidos em relação a uma situação atual ou futura (SONAVIYA; TANDEL, 2016).

5.2.8.8 Proposição de medidas

Com o modelo de propagação sonora na região de estudo e a caracterização da fonte, foi possível melhor definir as ações para minimização do ruído. As ações variam entre alteração na fonte ou implementação de barreiras acústicas no percurso do ruído.

Novos mapas foram elaborados com o prognóstico dos resultados esperados de atenuação das medidas escolhidas. Estes resultados foram comparados com os valores atuais.

5.3 AVALIAÇÃO DAS FONTES

O uso de diferentes métodos de cálculo, ISO 9613 -1/2 e ISO 9613 – 1/2 *Road*, permite obter melhores resultados perante fontes de diferentes características, entretanto não possibilita a avaliação conjunta entre elas. Portanto, para os ruídos estudados não foram avaliados concomitantemente as fontes de empilhadeira e prensa.

Destaca-se ainda que as fontes significativas, prensa e empilhadeira, foram avaliadas separadamente do ruído de fundo da indústria em razão da própria característica do ruído que deve estar isenta das fontes principais.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados obtidos conforme a fonte de interesse.

6.1 CARACTERIZAÇÃO DO NÍVEL SONORO NOTURNO

Conforme a Lei 1319 o período noturno inicia-se a partir das 22:00 horas, entretanto para minimizar a influência do ruído externo que nesse horário ainda é elevado na região a medição iniciou-se somente as 23:40 horas e foi concluída a 01:40 hora. Nesse intervalo houve a medição em 61 minutos nos 08 pontos descritos na figura 10, todas as medições ocorreram na área externa da indústria e respeitaram os critérios de medição.

A indústria não realiza atividades com prensas ou empilhadeiras no período noturno. Portanto, na ocasião da medição, o ritmo de operação da indústria era normal, isento dos equipamentos críticos e com operação contínua, fora de horários especiais como janta ou manutenção de equipamentos.

As medições foram analisadas e compiladas em resultados estatísticos, conforme a tabela 02.

TABELA 02 – RUÍDO NOTURNO

PONTO	L _{A10} dB(A)	L _{Aeq,5} dB(A)	L _{A90} dB(A)
PONTO 01	66,9	63,2	47,8
PONTO 02	58,8	58,1	49,6
PONTO 03	56,8	55,7	54,4
PONTO 04	58,7	58,3	57,1
PONTO 05	56,3	54,3	52,1
PONTO 06	54,0	53,4	42,0
PONTO 07	58,3	54,9	45,6
PONTO 08	52,6	51,4	48,9

Fonte: Do autor (2018).

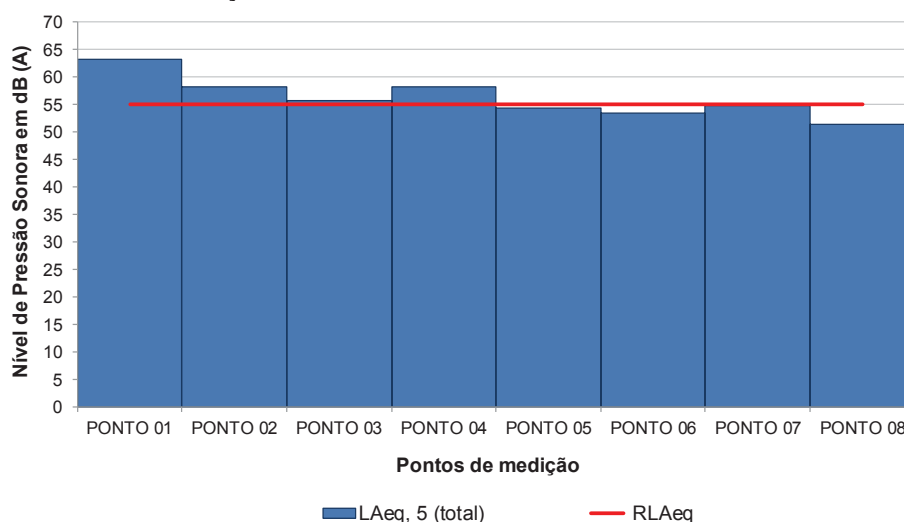
O ruído noturno da indústria não apresenta características impulsivas ou tonais são gerados por esmerilhadeiras, centros de usinagem, torre de resfriamento, plasma e outros equipamentos similares e difusos. Portanto não é necessário estabelecer correções nos resultados obtidos.

Durante a medição raramente verificou-se fontes de ruído externas, o tráfego constatado era um baixo fluxo de veículos, os ruídos das residências foram inexistentes, bem como não há plantas industriais ou comerciais em operação no horário em questão.

Para avaliar o impacto sonoro na comunidade o valor mais adequado é o $L_{Aeq,5}$ que deve ser comparado com os limites de NPS da região. O ponto 01 apresentou os resultados mais significativos, pois além de possuir o maior NPS medido possui um baixo L_{90} , evidenciando uma grande amplitude sonora e elevado potencial de incômodo, aborrecimento e desconforto da comunidade.

O gráfico 01 apresenta o ruído equivalente obtido nesta campanha.

GRÁFICO 01 – AVALIAÇÃO SONORA DO RUÍDO INDUSTRIAL RESIDUAL NOTURNO



Fonte: Do autor (2018).

Apesar do ruído gerado na indústria influenciar diretamente todos os pontos medidos, o valor do nível sonoro equivalente - $L_{Aeq,5}$ é superior ao limite de RL_{Aeq} em cerca de 50% das medições realizadas. Entretanto, somente os pontos 01,02 e 03 são críticos, pois estão localizados fora do perímetro territorial da indústria, na frente das residências.

O ponto 01, está localizado na porta principal da indústria que registrou níveis sonoros mais elevados LA_{10} de 66,7 dB e $L_{Aeq,5}$ de 63,2 dB devido a área ser aberta, sem meios eficientes que atenuem o NPS para a área externa. Esse campo sonoro com baixa reflexão, propaga o ruído gerado sendo facilmente percebido pela comunidade. Destaca-se que o ponto 01 apresentou a maior variação em relação ao RL_{Aeq} da região.

O ponto 02 sofre influência das aberturas existentes na fachada da indústria e apresentou NPS elevado LA_{10} de 58,8 dB e $L_{Aeq,5}$ de 58,1 dB. Este ponto foi caracterizado a este NPS em função da reflexão de borda gerada pelas janelas e portas que permite o alcance de ruídos com menor intensidade no ponto medido, mas acima do RL_{Aeq} da região.

O ruído no ponto 03 é retilíneo com poucas variações. O NPS medido no ponto atingiu o $L_{Aeq,5}$ de 55,7 dB e variação estatística de apenas 2,4 dB entre o L_{10} e L_{90} . A fonte sonora influenciadora deste índice é a torre de resfriamento da planta que mantém a intensidade sonora constante, semelhante a uma chuva.

O ponto 04 apesar de possuir $L_{Aeq,5}$ 58,3 dB e, portanto, acima do RL_{Aeq} da região, está inserido no meio do terreno da indústria, não influenciando a área externa da planta. Os pontos 05, 06, 07 e 08 além de estar distantes de áreas habitadas possui $L_{Aeq,5}$ inferior ao RL_{Aeq} da região, quando considerado exclusivamente a fonte industrial. Destaca-se que os pontos 07 e 08 por estar próximo a uma via de alto tráfego, construída em pavimento de paralelepípedo, sofre influência direta durante a passagem de veículos. Portanto, é possível afirmar que o ruído de trânsito influencia a região adjacente a esta via.

6.1.1 Ruído estatístico

Mesmo sob condições de atendimento aos requisitos legais, existem situações que podem gerar incômodos a comunidade. A tabela 03 apresenta a diferença dos ruídos estatísticos que, conforme Bistafa (2006), quanto mais afastado estiver o nível estatístico LA_{10} do LA_{90} , maior poderá ser o incômodo.

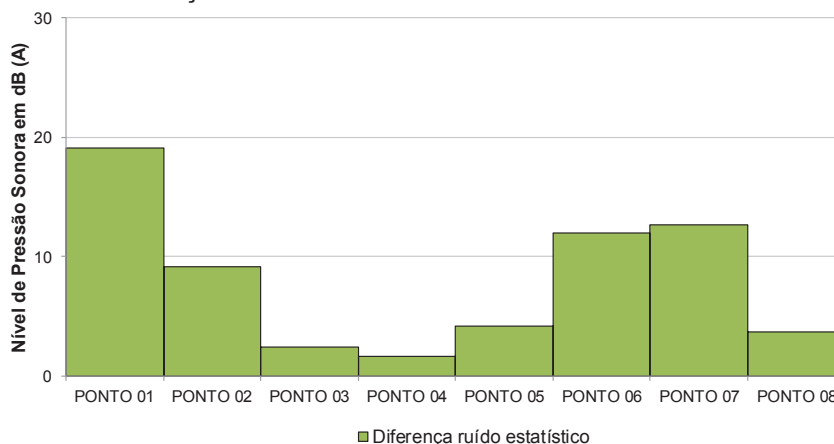
TABELA 03 – DIFERENÇA DO RUÍDO ESTATÍSTICO

PONTO	LA_{10} dB(A)	LA_{90} dB(A)	Diferença
PONTO 01	66,9	47,8	19,1
PONTO 02	58,8	49,6	9,2
PONTO 03	56,8	54,4	2,4
PONTO 04	58,7	57,1	1,6
PONTO 05	56,3	52,1	4,2
PONTO 06	54,0	42,0	12,0
PONTO 07	58,3	45,6	12,7
PONTO 08	52,6	48,9	3,7

Fonte: Do autor (2018).

Assim os pontos com maior possibilidade de gerar incômodo são o 01, 02, 06 e 07. Os dois últimos mesmo atendendo ao RL_{Aeq} apresentam uma grande variação entre os ruídos estatístico LA_{10} e LA_{90} sendo uma região com maior potencial de incômodo. O gráfico 02 apresenta essas diferenças.

GRÁFICO 02 – DIFERENÇAS DO RUÍDO ESTATÍSTICO LA_{10} DO LA_{90} DA FONTE NOTURNA



Fonte: Do autor (2019).

Os pontos 03 e 04 apresentaram a menor variação de ruído estatístico existente nas amostragens, apesar de ambos obterem resultado de ruído equivalente superior ao limite de RL_{Aeq} da região. Esta pequena variação é resultado do ruído contínuo gerado por duas torres de resfriamento, que são equipamentos de suporte que operam 24 horas/dia.

Apesar da distância para os pontos de medição, superior a 50 metros, a torre de resfriamento não possui atenuação acústica e a transmissão das ondas sonoras geradas pelos motores são facilitadas pelo vento e a área aberta, que contribui efetivamente para o NPS medido nos pontos 03 e 04.

O ponto 01 apresentou uma grande variação na intensidade sonora, verificou-se uma amplitude de variação estatística de 19 dB, corroborando com o histórico de reclamações, que indicam os maiores índices de incômodo na vizinhança para o horário noturno.

Os pontos 06 e 07 apresentaram variação de 12 e 12,7 dB, respectivamente, valores que apesar de elevados, estão associadas as características do ruído residual (LA_{90}). Para ambos os pontos, o ruído de pico se apresentou muito próximo ao RL_{Aeq} .

6.1.2 Mapeamento acústico

Um dos desafios de medir ruídos específicos em campos abertos é a detecção frequente de ruídos intrusivos. Quanto maior a distância de medição em relação fonte, mais sensível o resultado obtido e o ruído externo mais realçado influenciando o NPS medido. Desta forma, para melhor compreender o ruído gerado foi realizado a simulação acústica do cenário de estudo, considerando os resultados obtidos nas medições realizadas próximo a fonte.

O modelo de simulação da propagação sonora para o ruído noturno, após calibrado, garantiu o desvio máximo de até 03 dB(A) entre o $L_{Aeq,5}$ medido e o L_{Aeq} simulado. A tabela 04 apresenta a calibração obtida no modelo para cálculo do mapa de ruído.

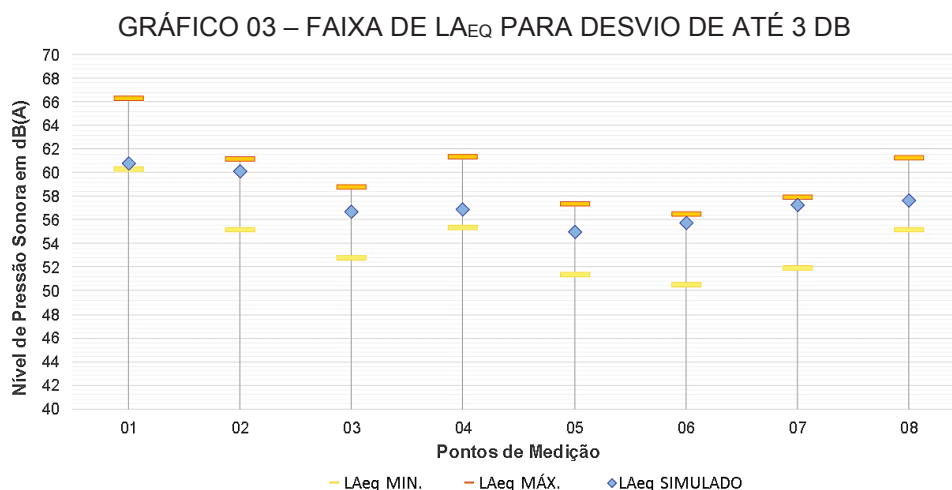
TABELA 04 – DESVIO DE NPS MEDIDO E CALCULADO.

PONTO	L_{Aeq} dB(A) MEDIDO	L_{Aeq} dB(A) CALCULADO	DESVIO
PONTO 01	63,2	60,8	(-2,4)
PONTO 02	58,1	60,1	2,0
PONTO 03	55,7	56,7	0,9
PONTO 04	58,3	56,9	(-1,4)
PONTO 05	54,3	55,0	0,7
PONTO 06	53,4	55,8	2,4
PONTO 07	54,9	57,3	2,4
PONTO 08	58,1	57,6	(-0,5)

Fonte: Do autor (2019).

Em 2013 a CEDR elaborou o relatório “As melhores práticas em mapas estratégicos de ruído” e considerou que mapas de boa qualidade apresentam desvios de até 03 dB do ruído medido em relação ao simulado. Outros relatórios, muito utilizados na elaboração de mapas estratégicos recomendam que essa diferença não ultrapasse 4,6 dB (WG-AEN, 2006). Para melhorar a acuracidade dos resultados conforme há o distanciamento da fonte, foi preferido manter os menores desvios possíveis.

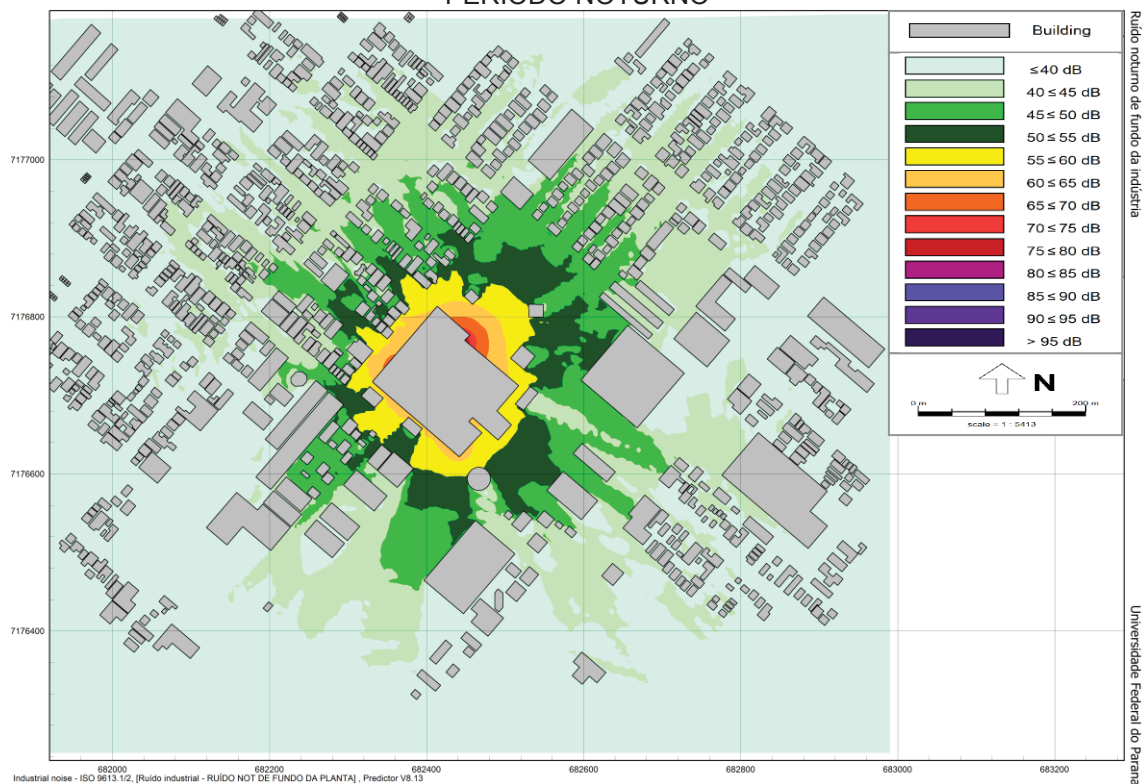
O gráfico 3 apresenta o NPS obtido no modelo calibrado em relação a faixa de desvio possível, variação entre L_{Aeq} , mínimo e L_{Aeq} , máximo.



O modelo simulado manteve o L_{Aeq} constante dentro da faixa possível de ± 3 dB e uma correlação entre os pontos medidos e simulados de 97,2%, evidenciando um modelo de boa qualidade (CEDR, 2013; WG-AEN, 2006).

A figura 17 apresenta o diagnóstico de propagação do ruído industrial residual na área de estudo, para o período noturno.

FIGURA 17 – MAPA DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO INDUSTRIAL RESIDUAL GERADO NO PERÍODO NOTURNO



Fonte: Do autor (2019).

Fica evidente que o ruído noturno gerado pelo parque fabril extrapola os limites da indústria e alcança áreas habitadas em nível superior aos critérios da legislação municipal, 55 dB(A), conforme assinalado na margem de transição entre o verde escuro e amarelo claro. Considerando o alcance do nível sonoro com 55 dB (A) e de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010) e a Secretaria Municipal de Planejamento e Desenvolvimento Econômico de São José dos Pinhais (2019) o bairro estudado possui densidade demográfica de 3,09 pessoas por moradia. Portanto, analisando o mapa sonoro da situação atual, o ruído noturno gerado pela planta pode incomodar cerca de 141 pessoas.

6.1.3 Análise das fachadas

A figura anterior considerou o grid horizontal cuja avaliação considera a propagação horizontal do ruído. Entretanto o ruído gerado possui comportamentos diferentes quando considerando a altura. A figura 18 apresenta a visualização em três dimensões das faixas de NPS que atingem as edificações adjacentes a indústria.

FIGURA 18 – MAPA 3D DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO INDUSTRIAL RESIDUAL NO PERÍODO NOTURNO



Fonte: Do autor (2019).

Comparando a figura 18 com a 17 verifica-se que o ruído na faixa de 55 dB (A) alcança distâncias maiores quanto maior for a altura em relação ao solo. Ampliando o número de pessoas que estão expostas ao limite legal de emissão

do ruído. Verifica-se também que os prédios adjacentes estão expostos a NPS de até 70 dB(A), enquanto na análise horizontal não ultrapassava a faixa anterior de 65 dB (A). Atualmente, a comunidade possui edificações majoritariamente térreas, entretanto há uma tendência de verticalização no bairro, que pode maximizar a poluição sonora e o incômodo ao bem-estar da comunidade.

6.2 CARACTERIZAÇÃO DIURNA, SEM A FONTE PRINCIPAL

O ruído industrial residual diurno da planta é caracterizado por diversas fontes, internas, externas, fixas e móveis. Destas fontes algumas se destacam das demais, como é o caso do ruído da empilhadeira e prensas. Estes ruídos predominantes quando ausentes minimizam o ruído gerado pela planta industrial, mas as fontes restantes ainda apresentam um NPS elevado.

Para tanto, os ruídos predominantes foram interrompidos e realizado uma campanha de medição avaliando o impacto sonoro do ruído contínuo da indústria. As medições foram realizadas conforme a disponibilidade de interrupção das fontes predominantes na face de medição, ocorrendo majoritariamente no período da tarde.

A medição do ruído residual é importante para avaliar todos os outros equipamentos, considerando que a fonte crítica atua mascarando os demais ruídos existentes. Portanto, caso seja estabelecido ações de controle direcionadas somente ao equipamento crítico, as outras fontes ainda podem gerar perturbação e incômodo, de acordo com o NPS residual gerado.

Para a caracterização do ruído residual, houve um monitoramento acumulado em 214 minutos nos 17 pontos descritos na figura 11, todas as medições ocorreram na área externa da indústria e respeitaram os critérios de medição. Na ocasião da medição, o ritmo de operação da indústria era normal isento dos equipamentos críticos predominantes e com a operação contínua. Esta situação se manteve durante todo o período de medição.

A quantidade e a localização dos pontos de medição foram ajustadas para melhor permitir a análise do ruído residual. As medições foram analisadas e compiladas em resultados estatísticos, conforme a tabela 05.

TABELA 05 – RUÍDO DIURNO, SEM A FONTE PRINCIPAL

PONTO	L_{A10} dB(A)	$L_{Aeq,5}$ dB(A)	L_{A90} dB(A)
PONTO 01	62,8	60,4	56,5
PONTO 02	66,7	64,1	54,9
PONTO 03	65,9	65,2	55,5
PONTO 04	70,1	65,7	54,4
PONTO 05	69,1	67,3	58,0
PONTO 06	71,1	67,3	60,2
PONTO 07	68,9	65,4	58,0
PONTO 08	63,0	62,6	53,3
PONTO 09	69,00	63,8	53,7
PONTO 10	59,40	57,2	49,1
PONTO 11	66,5	64,6	62,0
PONTO 12	72,1	70,1	68,2
PONTO 13	71,7	68,4	64,8
PONTO 14	61,6	59,7	50,5
PONTO 15	59,4	60,9	51,9
PONTO 16	69,0	67,3	54,5
PONTO 17	70,7	69,8	53,3

Fonte: Do autor (2018).

O ruído diurno da indústria não apresenta características impulsivas ou tonais e são gerados por todos os demais equipamentos do parque fabril, destacando as fontes: esmerilhadeiras, centros de usinagem, torre de resfriamento, plasma, guilhotina, equipamentos pneumáticos e outros equipamentos similares e difusos. Portanto não é necessário estabelecer correções nos resultados obtidos.

Durante a medição buscou minimizar a detecção de ruídos externos, ocasionados por trânsito de veículos na rua ou advindos das residências. Para avaliar o impacto sonora do ruído na comunidade o valor mais adequado é o $L_{Aeq,5}$ que deve ser comparado com os limites de NPS da região.

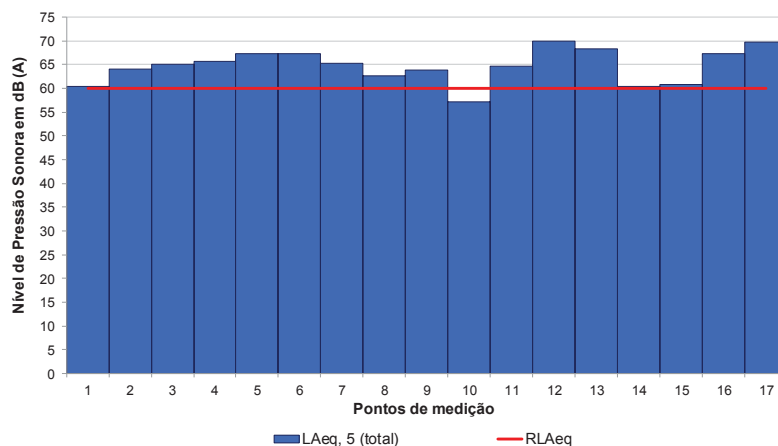
O ponto 12 apresentou os resultados mais desafiadores, pois além de possuir o maior NPS medido, possui um elevado L_{A90} , evidenciando que a fonte sonora emite ruído elevado e constante, com elevado potencial de incômodo, aborrecimento e desconforto para comunidade.

Os pontos 16 e 17 foram influenciados por ruídos externos a fonte de interesse. Estes pontos ficam a margem de uma via importante do município, com intenso trânsito. Portanto, nestes pontos, não foi possível avaliar o impacto

sonoro da indústria, pois o impacto gerado pelo trânsito é superior ao NPS industrial que alcança a região.

O gráfico 4 apresenta o ruído equivalente obtido na série de medição.

GRÁFICO 04 – AVALIAÇÃO SONORA DO RUÍDO RESIDUAL DIURNO



Fonte: Do autor (2018).

O ruído industrial diurno residual gerado pela indústria tem influência direta nos pontos medidos. O valor diurno do nível de pressão sonora equivalente ($L_{Aeq, 5}$ (residual diurno)) é superior ao limite de RL_{Aeq} em cerca de 88% das medições realizadas.

Os pontos com maior intensidade sonora foram os pontos 12 e 13 que ficam nos fundos da planta, na divisa com outro empreendimento. Entretanto as medições mais críticas foram nos pontos 05, 06 e 07 pois estão localizados fora do perímetro territorial da indústria, na frente das residências.

Destaca-se que os pontos que obtiveram os resultados mais significativo no período diurno, foram os mesmos pontos críticos para o período noturno.

Os pontos 01, 02, 03 e 04 estão localizados em região mais afastadas das principais fontes sonoras geradoras de ruído e mesmo assim alcançaram NPS superior ao RL_{Aeq} da região. Estes pontos apresentaram um desafio de medição, pois estes locais estão adjacentes a uma via de trânsito, o que dificultou o isolamento do ruído industrial. O período escolhido para medição priorizou horários com menores fluxos de trânsito nas vias próximas, para garantir maior precisão nos resultados obtidos. Portanto, os resultados nestes pontos são relevantes, pois apesar de sofrer influência de ruídos externos, que contribuíram na composição do NPS estatístico gerado, garantiram a ocorrência

predominante capaz de mascarar os ruídos de fontes externas em mais de 95% do período de observação.

Os pontos 05, 06 e 07, como já falado, são os mais críticos quando considerado o potencial de incômodo a comunidade. A região sofre influência das aberturas existentes na fachada como janelas e portas, que durante o dia ficam permanentemente abertas. Todos estes pontos apresentaram NPS elevado de $L_{Aeq,5}(\text{residual diurno})$ acima de 65 dB, superior ao RL_{Aeq} de 60 dB. O ruído gerado neste ponto é constante resultado do conjunto de equipamentos em operação, o qual não é possível identificar a fonte predominante.

Os pontos 08 e 09 apresentaram NPS superiores ao RL_{Aeq} , principalmente em razão do ruído gerado pela torre de resfriamento, que está equidistante aos dois pontos de medição. Destaca-se que o impacto sonoro do ponto 09 é menos relevante, pois está locado no interior do terreno da indústria, enquanto o ponto 08 está muito próximo das áreas habitadas.

O ponto 10 está localizado em uma área de grande reflexão, no local estão armazenados materiais em madeira, situação que contribuiu na redução de propagação do ruído, semelhante a uma barreira. Neste ponto o NPS medido atingiu o $L_{Aeq,5}(\text{residual diurno})$ de 57,2 dB (A) inferior ao RL_{Aeq} .

O ponto 11 sofre com o aumento considerável do NPS gerado por equipamentos de corte instalados na região. Esse equipamento possui ruído com característica contínua e retilínea que pode ser observado pelos resultados dos ruídos estatísticos. O NPS medido no ponto atingiu o $L_{Aeq,5}(\text{residual diurno})$ de 64,6 dB e variação estatística de apenas 4,5 dB entre o L_{10} e L_{90} .

Os pontos 12 e 13 são os mais elevados, entretanto não há áreas habitadas próximo a estes pontos. Todavia o NPS alcançado merece atenção pois ultrapassou em 10,1 dB(A) e 8,4 dB(A) o limite legal estabelecido para a região, suficiente para gerar grandes perturbações caso, no futuro, haja a instalação de residências na área. Os pontos 14 e 15 melhor representa a propagação do ruído industrial, pois estão locados a mais de 50 metros da planta. Ambos os pontos apresentam o $L_{Aeq,5}(\text{residual diurno})$ muito próximo ao RL_{Aeq} , evidenciado o decaimento natural do NPS da fonte.

Os pontos 16 e 17 sofreram consequências de ruído externo, que alterou o resultado, maximizando o NPS obtido. O impacto externo é tão severo que o resultado obtido nestes pontos, de $L_{Aeq,5}$ com 67,3 dB e 69,8 dB respectivamente,

é superior ao NPS medido adjacente a fonte. Portanto, após o decaimento natural do ruído, uma nova fonte predominante alterou o NPS o desassociando da indústria e mantendo relação ao fluxo de veículos na via.

6.2.1 Ruído estatístico

Uma forma de avaliar registros de NPS em função do tempo é adotando os níveis estatísticos que pode melhor avaliar situações de incômodo (BISTAFA, 2006). A tabela 06 apresenta a diferença dos ruídos estatísticos L_{A10} do L_{A90} .

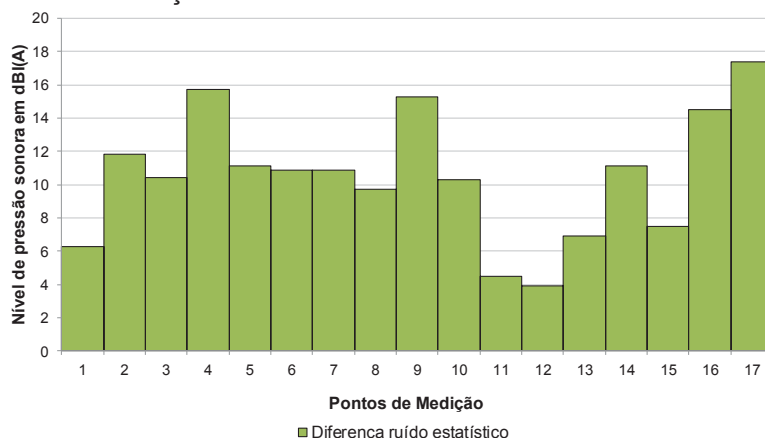
TABELA 06 – DIFERENÇA DO RUÍDO ESTATÍSTICO RESIDUAL DIURNO L_{A10} do L_{A90}

PONTO	L_{A10} dB(A)	L_{A90} dB(A)	Diferença
PONTO 01	62,8	56,5	6,3
PONTO 02	66,7	54,9	11,8
PONTO 03	65,9	55,5	10,4
PONTO 04	70,1	54,4	15,7
PONTO 05	69,1	58,0	11,1
PONTO 06	71,1	60,2	10,9
PONTO 07	68,9	58,0	10,9
PONTO 08	63,0	53,3	9,7
PONTO 09	69,0	53,7	15,3
PONTO 10	59,4	49,1	10,3
PONTO 11	66,5	62,0	4,5
PONTO 12	72,1	68,2	3,9
PONTO 13	71,7	64,8	6,9
PONTO 14	61,6	50,5	11,1
PONTO 15	59,4	51,9	7,5
PONTO 16	69,0	54,5	14,5
PONTO 17	70,7	53,3	17,4

Fonte: Do autor (2018).

Os pontos de influência direta da indústria com maior possibilidade de gerar incômodo são os pontos 04 e 09. Sendo que o ponto 04 é o mais relevante por estar próximo as residências. Quando comparado com a mesma análise realizada para o ruído noturno, verifica-se que o ruído diurno é mais constante e retilíneo, mantendo o nível estatístico residual de L_{90} a valores também elevados. O gráfico 05 apresenta essas diferenças.

GRÁFICO 05 – DIFERENÇAS DO RUÍDO ESTATÍSTICO DA FONTE RESIDUAL DIURNA



Os pontos considerados anteriormente como os mais críticos não apresentaram uma grande variação nos ruídos estatísticos. Os pontos 05,06 e 07, mantiveram uma diferença moderada de aproximadamente 11 dB (A). Essa diferença revela potenciais incômodos a vizinhança, visto que o ruído gerado no período diurno é contínuo, se mantendo frequentemente acima do RL_{Aeq} , inclusive os níveis L_{90} , como é o caso do ponto 06.

Outro fator relevante são as diferenças estatísticas para os pontos 12 e 13. Estes pontos apresentaram uma das menores variações, apesar de ambos obterem os maiores resultado de $L_{Aeq,5}$. Esta pequena variação permite verificar que o ruído nestes pontos é contínuo, com pequenas oscilações durante o ciclo. Além disso, esta face da indústria possui barreiras acústicas menos eficientes.

O ponto 09 apresentou elevada variação de aproximadamente 15,3 dB(A) dos ruídos estatísticos que, semelhante ao ruído noturno, também está exposto a torre de resfriamento que possui baixa variação na intensidade sonora.

6.2.2 Mapeamento acústico

Os resultados pontuais obtidos para o ruído industrial residual diurno permitiram a identificação de equipamentos secundários e o melhor entendimento das características do ruído residual da planta. Estas informações são relevantes e contribuem para a definição das ações de controle, principalmente que medições diurnas em áreas abertas são mais difíceis de serem realizadas que a noturna. Durante o dia há mais ruído externo, que invadem o campo sonoro de medição e podem alterar a composição do NPS obtido.

Essa situação ocorre com mais frequência conforme há o distanciamento da fonte de interesse ou a proximidade com fontes móveis de ruas e vias rápidas. Assim os resultados confiáveis obtidos mais próximos da fonte auxiliam na elaboração de simulações acústicas.

Desta forma, buscou-se outros meios para avaliar o impacto do ruído residual sem contabilizar as fontes externas, o modelo de simulação da propagação sonora para o ruído diurno, após calibrado, garantiu o desvio máximo de até 03 dB(A) entre o $L_{Aeq,5}$ medido e o L_{Aeq} simulado. A tabela 07 apresenta a calibração obtida no modelo para cálculo do mapa de ruído.

TABELA 07 – DESVIO DE NPS RESIDUAL DIURNO MEDIDO E CALCULADO.

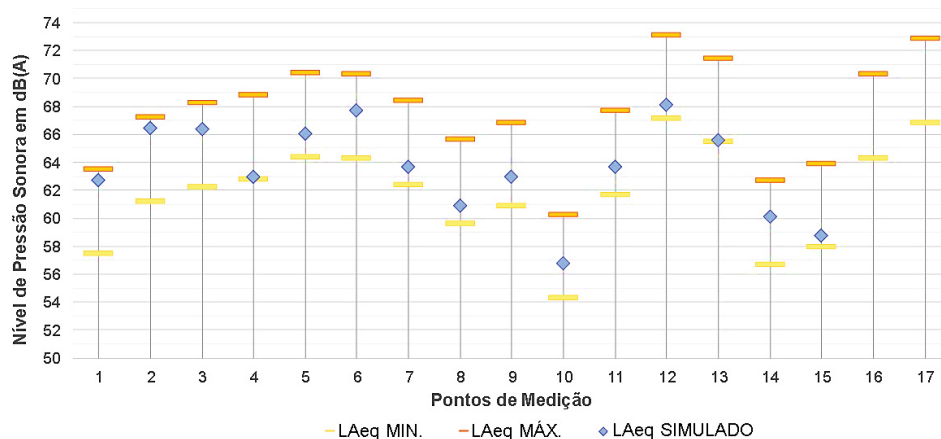
PONTO	L_{Aeq} dB(A) MEDIDO	L_{Aeq} dB(A) CALCULADO	DESVIO
PONTO 01	60,4	62,8	2,4
PONTO 02	64,1	66,5	2,4
PONTO 03	65,2	66,4	1,2
PONTO 04	65,7	63,0	(-2,7)
PONTO 05	67,3	66,1	(-1,2)
PONTO 06	67,3	67,7	0,5
PONTO 07	65,4	63,6	(-1,7)
PONTO 08	62,6	60,9	(-1,7)
PONTO 09	63,8	63,0	(-0,8)
PONTO 10	57,2	56,8	(-0,5)
PONTO 11	64,6	63,7	(-0,9)
PONTO 12	70,1	68,1	(-2,0)
PONTO 13	68,4	65,6	(-2,8)
PONTO 14	59,7	60,1	0,4
PONTO 15	60,9	58,7	(-2,2)
PONTO 16	67,3	NA	NA
PONTO 17	69,8	NA	NA

Fonte: Do autor (2019).

Seguindo o estabelecido no relatório da CEDR em 2013 que recomenda a diferença máxima de até 03 dB do ruído medido em relação ao simulado, foi estabelecido o modelo mais próximo possível do NPS medido.

Os pontos 16 e 17 foi desconsiderado pois, conforme já falado, não representam o NPS da fonte industrial no local avaliado. O gráfico 06 apresenta o NPS obtido no modelo calibrado em relação a faixa de desvio possível, variação entre L_{Aeq} , mínimo e L_{Aeq} , máximo.

GRÁFICO 06 – FAIXA DE LAEQ PARA DESVIO DE ATÉ 3 DB DO MODELO DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO RESIDUAL DIURNO.

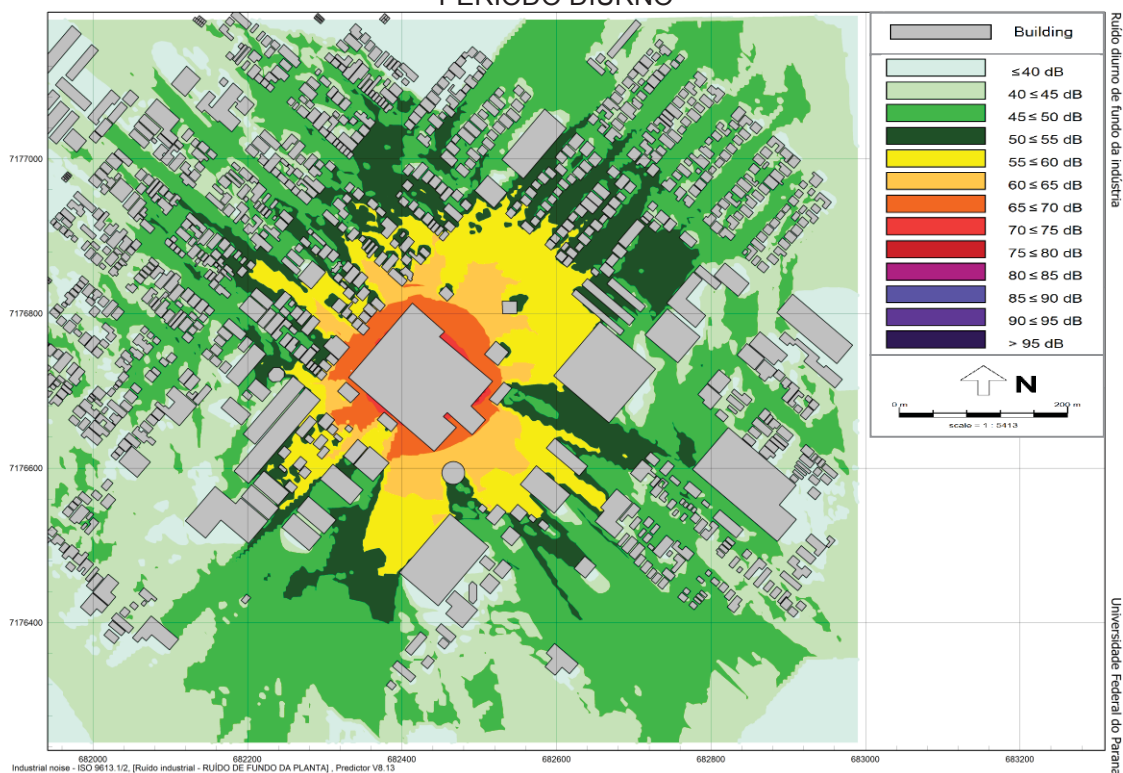


Fonte: Do autor (2019).

O modelo simulado manteve o LA_{eq} constante dentro da faixa possível de ± 03 dB e uma correlação entre os pontos medidos e simulados de 97,6%, evidenciando um modelo de boa qualidade (CEDR, 2013; WG-AEN, 2006).

A figura 19 apresenta o diagnóstico de propagação do ruído industrial residual da indústria na área de estudo, para o período diurno.

FIGURA 19 – MAPA DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO INDUSTRIAL RESIDUAL GERADO NO PERÍODO DIURNO



Fonte: Do autor (2019).

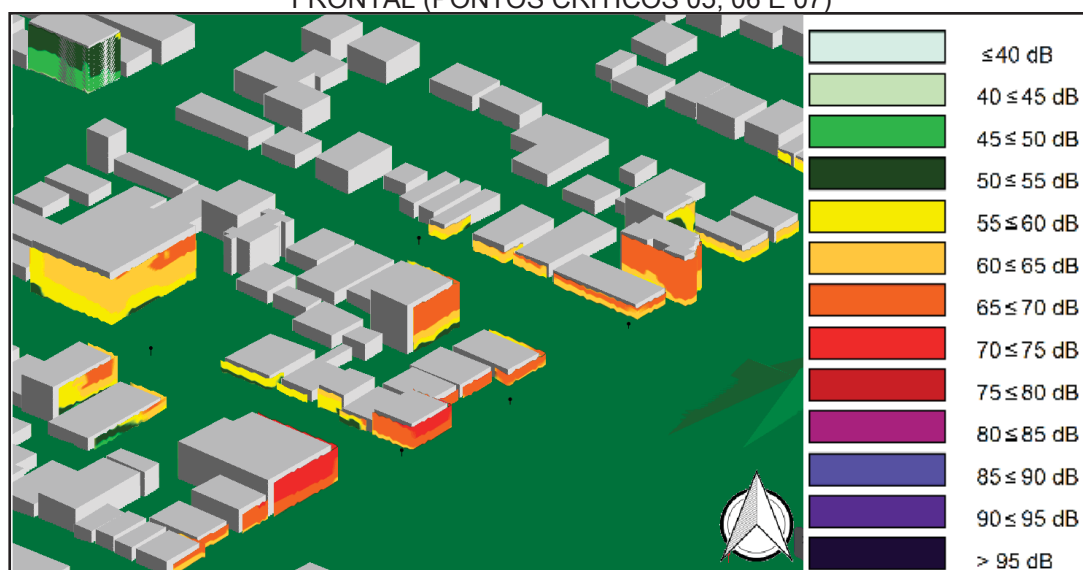
É notório que o ruído diurno alcança áreas habitadas em nível superior aos critérios da legislação municipal, 60 dB(A), conforme assinalado na margem de transição entre o amarelo e o laranja claro. Considerando este alcance e que por moradia vivem cerca de 3,09 pessoas de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010) e a Secretaria Municipal de Planejamento e Desenvolvimento Econômico de São José dos Pinhais (2019) o ruído residual diurno pode incomodar cerca de 339 pessoas.

O total de pessoas afetadas representa cerca de 2,8% do total de pessoas que moram no bairro estudado. Quando comparado a quantidade de pessoas do período noturno, há um aumento de 140% do número de pessoas expostas a NPS acima do limite legal. Portanto, verifica-se que somente o ruído residual da planta já é suficiente para exigir ações robustas, que minimizem o NPS propagado para a área externa da planta, melhorando o bem-estar da comunidade e evitando possíveis danos à saúde da população exposta.

6.2.3 Análise das fachadas

Nesta avaliação a propagação do ruído alcança edifícios de até 25 m de altura. A poluição sonora que alcança todos os andares destas construções é melhor avaliada em grid vertical, conforme disponível na figura 20. Esta figura apresenta a visualização em três dimensões das faixas de abrangência do NPS.

FIGURA 20 – MAPA 3D DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO RESIDUAL DIURNO NA FACE FRONTAL (PONTOS CRÍTICOS 05, 06 E 07)

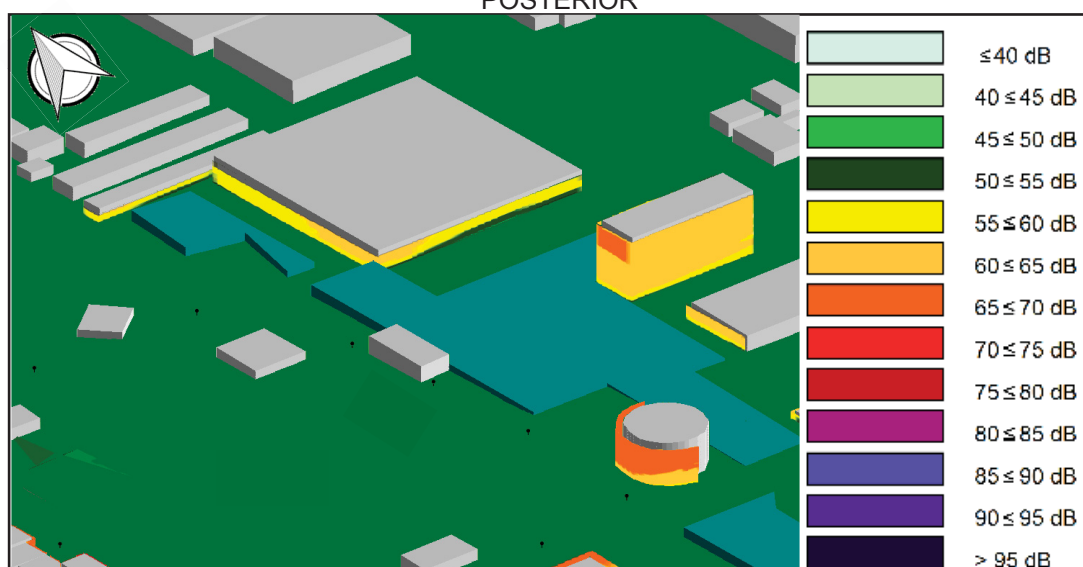


Fonte: Do autor (2019).

Como já era esperado as residências em andares elevados estão expostas a NPS superiores que as residências equidistantes horizontalmente, mas em andares térreos. Portanto o número de pessoas expostas a ruídos acima do permitido pode ser maior, conforme a arquitetura da edificação.

Considerando a emissão residual diurna, na face dos pontos de medição 05,06 e 07 a intensidade do NPS na fachada dos prédios adjacentes alcança até 75 dB(A), enquanto na análise horizontal não ultrapassava a faixa anterior. A figura 21 considera a face dos pontos 12 e 13.

FIGURA 21 – MAPA 3D DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO RESIDUAL DIURNO NA FACE POSTERIOR



Fonte: Do autor (2019).

Considerando a face posterior, verifica-se que o ruído ultrapassa a área com vegetação e alcança prédio residencial. Esse prédio é o mais alto da região, possui cerca de 25 metros e é afetado consideravelmente pelo ruído emitido, obtendo diferença de até 10 dB(A) quando comparado ao nível térreo, que é relativamente protegido pela área de vegetação.

6.3 CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO DA PRENSA

O principal ruído gerado na indústria ocorre em uma prensa excêntrica de 600 toneladas, cuja operação está associada a um desbobinador que aumenta a capacidade produtiva e permite o uso de bobinas. A prensa gera ruído de característica impulsiva com grande frequência de repetição do impacto,

mascarando os demais ruídos gerados na área interna da planta e se expandindo para a área externa da indústria. Por tratar-se de um ruído de impacto, tem elevando potencial de causar incômodo a comunidade e atualmente é a principal causa das reclamações oriundas da vizinhança.

Para compreender as características do ruído de impacto gerado, inclusive os caminhos preferenciais, foram realizadas 27 medições. Destas, 12 medições foram realizadas na área interna do prédio industrial e o restante, 15 pontos, foram realizadas na área externa.

O leiaute fabril possui vários equipamentos de grande porte, paredes, divisórias, estruturas e outros objetos que criam barreiras de reflexão, estabelecendo caminhos de propagação do ruído. Os pontos de medição abrangeram preferencialmente os pontos críticos já observados, como portas de acesso e regiões com histórico de reclamação.

Outro fator relevante é a existência de diversas fontes de ruído na área interna da planta. A área interna comporta uma série de equipamentos que para a realização da medição foram interrompidos sempre que possível ou a medição realizada com intervalos, para não interromper o ciclo produtivo e garantir resultados fidedignos do ruído da prensa.

A área externa da indústria, mas ainda nas dependências da planta, foi igualmente interrompido ou com medições realizadas em intervalos. Fora das dependências da indústria as medições ocorreram em intervalos, conforme se detectava a presença de ruídos intrusivos.

Durante a medição, principalmente nas áreas internas, casos específicos de ruídos menores cuja diferença aritmética entre o NPS total, que inclui o ruído da prensa e residual da planta, e o NPS residual for maior que 15 dB, assume-se, conforme ABNT (2019), que o ruído residual não influencia o resultado medido especificamente para a prensa.

Para a caracterização do ruído da prensa, houve a medição acumulada em 313 minutos em todos os pontos descritos na figura 12. As medições foram analisadas e compiladas em resultados estatísticos, conforme a tabela 08.

TABELA 08 – RUÍDO DA PRENSA

PONTO		L_{A10} dB(A)	$L_{Aeq,1}$ dB(A)	L_R dB(A)	L_{A90} dB(A)
PONTO 01	EXTERNO	80,9	75,4	80,4	65,6
PONTO 02	EXTERNO	87,4	82,6	87,6	74,7
PONTO 03	EXTERNO	64,3	59,8	64,8	54,3
PONTO 04	EXTERNO	74,2	69,8	74,8	63,9
PONTO 05	EXTERNO	66,3	62,0	67,0	53,9
PONTO 06	EXTERNO	62,6	57,9	62,9	51,7
PONTO 07	EXTERNO	73,9	68,6	73,6	60,9
PONTO 08	EXTERNO	74,0	69,0	74,0	61,6
PONTO 09	INTERNO	89,6	85,0	90,0	77,8
PONTO 10	EXTERNO	68,8	64,7	69,7	61,0
PONTO 11	EXTERNO	65,6	61,8	66,8	58,0
PONTO 12	EXTERNO	63,9	60,4	65,4	57,2
PONTO 13	EXTERNO	60,9	58,6	63,6	55,6
PONTO 14	INTERNO	105	98,7	103,7	84,7
PONTO 15	INTERNO	120,9	114,1	119,1	89,0
PONTO 16	INTERNO	122,1	115,3	120,3	93,1
PONTO 17	INTERNO	115,9	108,7	113,7	89,9
PONTO 18	INTERNO	99,3	95,2	100,2	85,5
PONTO 19	INTERNO	98,5	92,0	97,0	81,5
PONTO 20	INTERNO	87,2	87,6	92,6	76,4
PONTO 21	EXTERNO	75,6	70,8	75,8	64,5
PONTO 22	INTERNO	97,8	97,6	102,6	83,7
PONTO 23	INTERNO	89,3	83,6	88,6	72,4
PONTO 24	INTERNO	88,8	82,8	87,8	73,2
PONTO 25	EXTERNO	64	60,0	65,0	56,4
PONTO 26	INTERNO	83,8	77,9	82,9	66,3
PONTO 27	EXTERNO	73,9	68,0	73,0	59,4

Fonte: Do autor (2018).

O ruído diurno da prensa apresenta características impulsivas cuja pressão sonora produzida pelo impacto é inferior a 1 segundo (ABNT, 2014) e possui diferença superior a 6 dB, entre o $L_{Aeq,1}$ (prensa) e o L_{AFmax} (ABNT, 2019). Portanto o NPS obtido L_{Aeq} (prensa) é acrescido em 05 dB para obter o nível corrigido - L_R . O nível corrigido é utilizado para avaliar fontes caracterizadas com ruído impulsivo e comparar ao RL_{Aeq} da região (ABNT, 2019).

A peça produzida durante a medição é uma das mais críticas fabricadas na planta, o impacto da ferramenta realiza o corte do contorno da peça, conforme a figura 22. É necessária uma grande força para realizar a ruptura da matéria prima de 9 mm, ocasionando um elevado NPS nas áreas próximas ao equipamento que se propaga em todas as direções.

FIGURA 22 – PROCESSO DE ESTAMPAGEM



Fonte: Do autor (2018).

Adjacente ao equipamento, os pontos 15,16,17 obtiveram os maiores índices de NPS registrados em todas as campanhas de medição, L_R de 119,1 dB(A), 120,3 dB(A) e 113,7 dB(A), respectivamente.

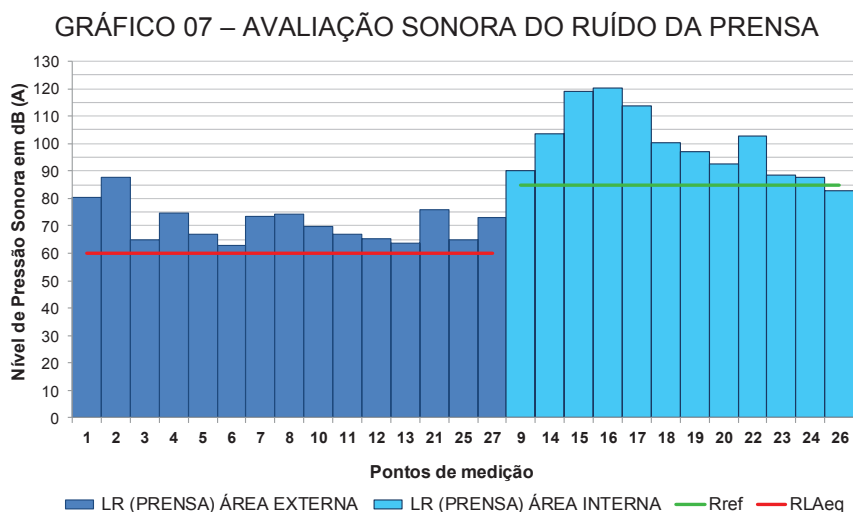
A prensa está instalada a somente 40 metros das residências e os pontos internos auxiliam no entendimento da propagação do ruído no interior da indústria. O ponto 14 está na área interna da indústria tendo obtido L_R de 103,7 dB (A), já a cerca de 06 metros de distância, após a parede divisória da indústria, no ponto 01, o L_R é reduzido para 80,4 dB(A). Evidenciado que as barreiras físicas existentes na planta alteram de forma significativa a propagação do ruído.

Os pontos externos 04,07 e 08, na frente de residências, evidenciam a dimensão da poluição sonora recebida pelos moradores, cujo L_R é de aproximadamente 74 dB(A). Inclusive, o ruído estatístico residual L_{90} , sem correção, é superior aos limites da região, situação com grande potencial de incômodo, aborrecimento e desconforto para comunidade.

O gráfico 07 apresenta o ruído equivalente corrigido obtido em cada um dos 27 pontos medidos e a linha vermelha representa o limite de níveis de pressão sonora, considerando a comparação com requisitos da Lei nº 1319, de 05/12/2008. Destaca-se que os pontos internos não são submetidos a legislação ambiental, pois a exposição ao ruído no ambiente de trabalho coloca em risco a saúde dos trabalhadores, além de possuir normas específicas para medição do ruído ocupacional e da condição auditiva dos trabalhadores (BRASIL, 2011).

A linha verde representa o NPS máximo seguro para atividades ocupacionais, independentemente do tempo de exposição, e foi adotado para limite na área interna. A legislação trabalhista brasileira determina que atividades que exponham trabalhadores em NPS acima de 85 dB(A), por 08 horas diárias ou mais, devem utilizar proteção individual apropriada (BRASIL, 2011). O requisito ainda estabelece a dosimetria de exposição, que considera o NPS e o

período de exposição, mas que não é objeto deste estudo (BRASIL, 2011). O NPS de 85 dB(A) será utilizado apenas como referência.



Fonte: Do autor (2019).

Os valores obtidos se sobrepõem aos outros resultados apresentados, corroborando com a criticidade do equipamento e as ocorrências de reclamação.

Na área externa, todos os pontos medidos obtiveram NPS acima do RL_{Aeq} da região, representando 100% das avaliações e demonstrando uma elevada criticidade e potencial de incômodo, pois o impacto da prensa ocasiona ruído de característica única na região, altamente perturbador, intrusivo, frequente e elevado. Os pontos 01 e 02 apresentaram os maiores resultados na área externa cujo L_R é de 80,4 dB(A) e 87,6 dB(A). Estes pontos estão próximos a divisa da propriedade da indústria expondo pessoas que transitam na área externa e até mesmo os trabalhadores da planta. O ponto 02 é inclusive superior ao limite ocupacional de exposição segura de 85 dB(A) (Brasil, 2011).

Os pontos 04, 07 e 08 são críticos, pois na frente das residências estão cerca de 14 dB(A) acima do limite estabelecido pela legislação de 60 dB(A).

Internamente, na planta industrial, são adotadas ações para minimizar o ruído percebido pelos colaboradores com o uso de equipamento de proteção individual, não sendo possível a aplicação desta prática aos moradores que também estão expostos a níveis elevados. Os pontos que obtiveram os menores níveis foram o 06 e o 13, ambos estão mais afastados da origem. O ponto 06 está no meio da área habitada, próximo a residências horizontais e prédios, enquanto o ponto 13 está na área da indústria em um campo sonoro livre.

Os pontos 21, 25 e 27, que estão localizados na face externa de cada lateral da planta também apresentaram NPS elevado de L_R 75,8 dB(A), 65 dB(A) e 73 dB(A), respectivamente. Portanto o ruído gerado pela prensa alcança nestas faces NPS acima do limite, causando poluição sonora em todas as regiões vizinhas da indústria.

Na área interna as barreiras existentes atuam minimizando o ruído e definindo o percurso de propagação sonora. Os pontos 18, 19 e 22 estão equidistantes da fonte sonora, de propagação omnidirecional, em 360 graus, entretanto os resultados obtidos mostram que o ponto 22 está mais exposto ao ruído gerado pela prensa.

A superfície dos objetos encontrados na indústria é majoritariamente chapa em aço carbono, situação que acaba criando um campo sonoro altamente refletivo, que pode ser verificado pelo resultado obtido no ponto 27, que apesar de distante apresentou NPS relativamente elevado de L_R 73 dB(A), valor similar aos pontos 07 e 08, mas que estão muito mais próximos a fonte.

Considerando a exposição ocupacional, o ruído de impacto da prensa também é significativo, pois se propaga para todo o interior da planta em intensidade elevada, exigindo o uso de equipamentos de proteção auditiva para os colaboradores (Brasil, 2011). Níveis elevados de ruído em ambiente industrial contribui na irritação e aborrecimento dos colaboradores, além do aumento no índice de acidentes do trabalho (ALI, 2011).

Na área interna, os pontos de medição com NPS mais elevados estão centralizados no mesmo pavilhão industrial, situação que influencia a produtividade do setor e a qualidade de vidas dos profissionais (MENDONÇA; LEITE, 2019). Os pontos 14,15,16,17 e 22 possuem L_R entre 120,3 dB(A) e 102,6 dB(A), superior a pontos que estão mais próximos a fonte, como os pontos 02, 19 e 18, essa situação ocorre em função da existência de barreiras em tijolo maciço e divisórias, algumas já construídas para permitir a redução do ruído na área externa.

As medições do ruído da prensa foram as mais difíceis para serem realizadas, pois havia muitos ruídos intrusivos que poderiam influenciar o resultado obtido. Em média cada ponto medido demorou cerca de 11 minutos, destes geralmente 05 minutos foram aproveitados e registrados no equipamento, totalizando cerca de 300 registros no *datalogger*.

O ponto 03 sofreu influência do ruído do trânsito gerado na via adjacente, levando cerca de 27 minutos para completar toda a medição e ainda somente 220 registros foram realizados, totalizando 3 minutos e 40 segundos. Período suficiente para a medição e repetição de todos os ciclos da prensa.

O ruído gerado na atividade em prensa possui um padrão constante, não há variação significativa na intensidade sonora ao longo do mesmo processo e, portanto, o período medido no ponto 03 é suficiente para apresentar o resultado confiável do NPS no local. Mesma situação ocorreu nos pontos 10, 11, 12 e 13, mas que, igualmente, não afetaram o resultado obtido.

6.2.4 Ruído estatístico

A tabela 09 apresenta os níveis estatísticos do ruído, L_{10} e L_{90} , inclusive as diferenças, permitindo avaliar os NPS registrados em função do tempo.

TABELA 09 – DIFERENÇA DO RUÍDO ESTATÍSTICO DO RUÍDO DA PRENSA.
(continua)

PONTO		L_{A10} dB(A)	L_{A90} dB(A)	Diferença
PONTO 01	EXTERNO	80,9	65,6	15,3
PONTO 02	EXTERNO	87,4	74,7	12,7
PONTO 03	EXTERNO	64,3	54,3	10,0
PONTO 04	EXTERNO	74,2	63,9	10,3
PONTO 05	EXTERNO	66,3	53,9	12,4
PONTO 06	EXTERNO	62,6	51,7	10,9
PONTO 07	EXTERNO	73,9	60,9	13,0
PONTO 08	EXTERNO	74,0	61,6	12,4
PONTO 09	INTERNO	89,6	77,8	11,8
PONTO 10	EXTERNO	68,8	61	7,8
PONTO 11	EXTERNO	65,6	58	7,6
PONTO 12	EXTERNO	63,9	57,2	6,7
PONTO 13	EXTERNO	60,9	55,6	5,3
PONTO 14	INTERNO	105	84,7	20,3
PONTO 15	INTERNO	120,9	89	31,9
PONTO 16	INTERNO	122,1	93,1	29,0
PONTO 17	INTERNO	115,9	89,9	26,0
PONTO 18	INTERNO	99,3	85,5	13,8
PONTO 19	INTERNO	98,5	81,5	17,0
PONTO 20	INTERNO	87,2	76,4	10,8

TABELA 09 – DIFERENÇA DO RUÍDO ESTATÍSTICO DO RUÍDO DA PRENSA.
(conclusão)

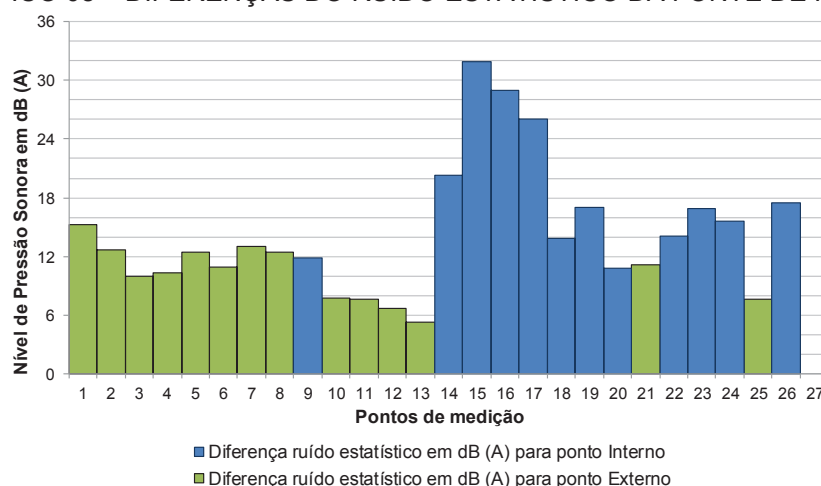
PONTO		L _{A10} dB(A)	L _{A90} dB(A)	Diferença
PONTO 21	EXTERNO	75,6	64,5	11,1
PONTO 22	INTERNO	97,8	83,7	14,1
PONTO 23	INTERNO	89,3	72,4	16,9
PONTO 24	INTERNO	88,8	73,2	15,6
PONTO 25	EXTERNO	64	56,4	7,6
PONTO 26	INTERNO	83,8	66,3	17,5
PONTO 27	EXTERNO	73,9	59,4	14,5

Fonte: Do autor (2019).

Os pontos externos, destacados em cinza, com maior possibilidade de gerar incômodo são os pontos 05, 07 e 08. Estes pontos possuem diferença do ruído estatístico de aproximadamente 13 dB(A), sendo confirmado pelo histórico de reclamação, pois estão próximos da área que há os maiores índices de reclamação do ruído da prensa.

Os pontos mais próximos da prensa alcançaram a diferença de até 31,9 dB(A) sendo incômodo até mesmo para os colaboradores que estão habituados ao ruído e utilizam equipamentos de proteção auditiva, conforme o gráfico 08.

GRÁFICO 08 – DIFERENÇAS DO RUÍDO ESTATÍSTICO DA FONTE DE PRENSA



Fonte: Do autor (2019).

A arquitetura da indústria contribui para a minimização da propagação sonora. O ruído que se propaga para a área externa é menos variável que o ruído interno, que possui diferenças estatísticas superiores. Quando comparado os pontos 14 e 01, que são separados por uma parede, verifica-se uma diferença do ruído estatístico de 20,3 dB(A) para 15,3 dB(A), respectivamente.

6.2.5 Mapeamento acústico

A partir dos resultados obtidos foi elaborado a simulação da propagação sonora do ruído da prensa. A tabela 10 apresenta a calibração obtida no modelo.

TABELA 10 – DESVIO DO NPS GERADO PELA PRENSA E CALCULADO.

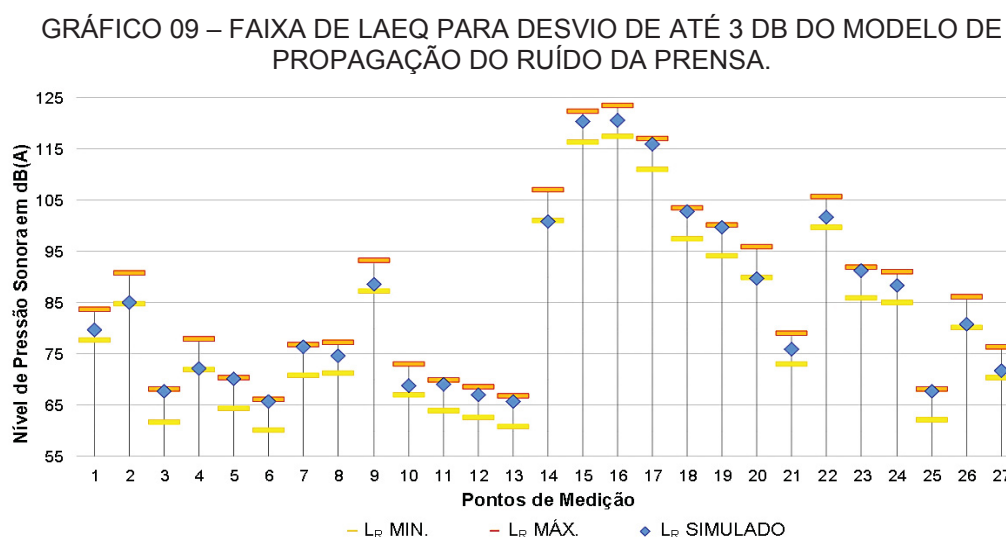
PONTO	L _R dB(A) MEDIDO	L _R dB(A) CALCULADO	DESVIO
PONTO 01	80,4	79,8	(-0,6)
PONTO 02	87,6	85,0	(-2,6)
PONTO 03	64,8	67,8	3,0
PONTO 04	74,8	72,2	(-2,6)
PONTO 05	67,0	70,1	3,1
PONTO 06	62,9	65,8	2,9
PONTO 07	73,6	76,3	2,7
PONTO 08	74,0	74,5	0,4
PONTO 09	90,0	88,5	(-1,5)
PONTO 10	69,7	68,8	(-0,9)
PONTO 11	66,8	69,1	2,3
PONTO 12	65,4	67,1	1,7
PONTO 13	63,6	65,6	2,0
PONTO 14	103,7	100,9	(-2,8)
PONTO 15	119,1	120,4	1,3
PONTO 16	120,3	120,6	0,3
PONTO 17	113,7	115,9	2,2
PONTO 18	100,2	102,9	2,7
PONTO 19	97,0	99,7	2,7
PONTO 20	92,6	89,8	(-2,8)
PONTO 21	75,8	76	0,2
PONTO 22	102,6	101,6	(-1,0)
PONTO 23	88,6	91,2	2,6
PONTO 24	87,8	88,4	0,6
PONTO 25	65,0	67,8	2,8
PONTO 26	82,9	80,9	(-2,0)
PONTO 27	73,0	71,7	(-1,3)

Fonte: Do autor (2019).

O modelo realizado foi calibrado para alcançar a melhor correlação possível, entre os níveis medidos e simulados. Conforme as recomendações do Relatório “As melhores práticas em mapas estratégicos de ruído”, elaborado por CEDR em 2013 o desvio para mapas estratégicos de boa qualidade é 03 dB.

As maiores diferenças obtidas foram de 3,1 dB, no ponto 05, e 3,0 dB, no ponto 03. Apesar de pontualmente, haver uma diferença de 1 décimo de decibel além do limite superior, o modelo de simulação do ruído da prensa é adequado para representar o impacto sonoro. Mapas acústicos são complexos e contém muitas variáveis, sendo comum admitir mapas estratégicos de boa qualidade com diferenças de 4,6 dB (WG-AEN, 2006; FLORENCIO, 2018; GUEDES, BERTOLI, 2015; OLIVEIRA FILHO, 2014; LICITRA, MEMOLI, 2008).

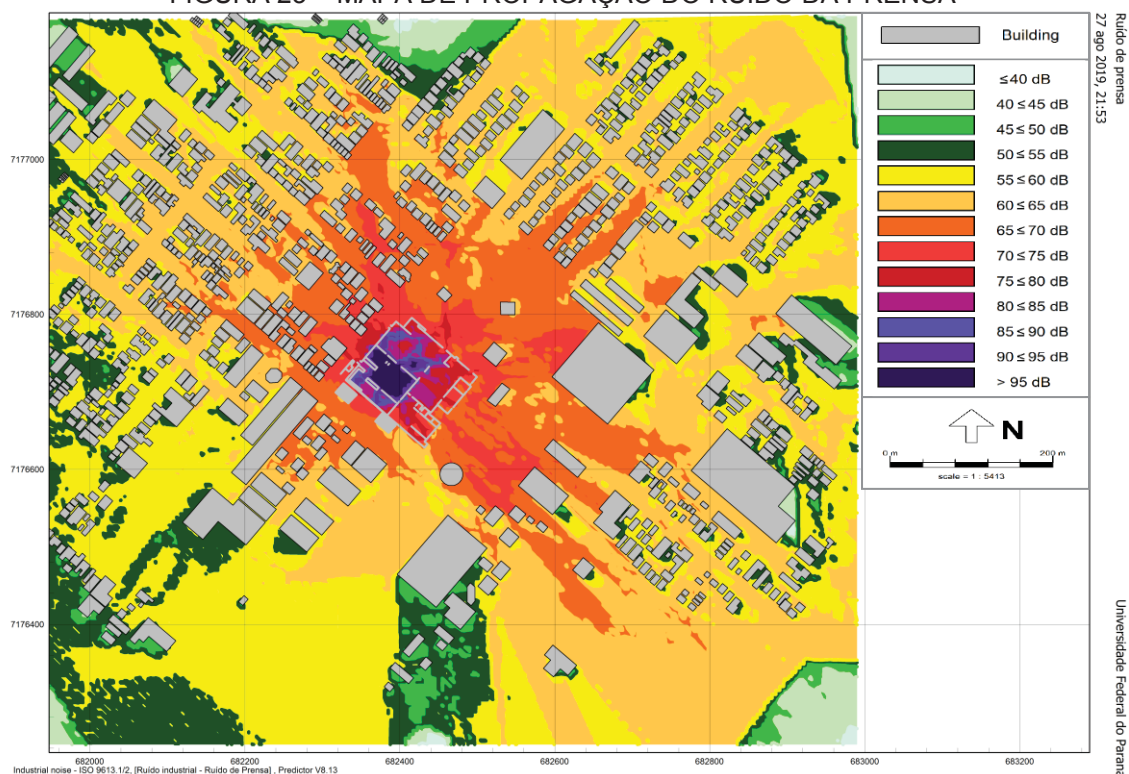
O gráfico 09 apresenta o NPS obtido no modelo calibrado em relação a faixa de desvio possível, variação entre $L_{R\text{mínimo}}$ e $L_{R\text{máximo}}$.



Fonte: Do autor (2019).

O modelo simulado alcançou uma correlação entre os pontos medidos e simulados de 97,58%. Além disso, com exceção de um único ponto, todos os demais estão dentro da faixa de ± 03 dB (A), o que confere um intervalo de confiança de 96,3% em que os valores calculados estão dentro da incerteza esperada, acima do recomendado de 95% (CEDR, 2013; WG-AEN, 2006; LICITRA, MEMOLI, 2008). Portanto, o modelo proposto é adequado e suficiente para representar o impacto sonoro do ruído da prensa. A figura 23 apresenta o diagnóstico de propagação do ruído da prensa, para a área em estudo.

FIGURA 23 – MAPA DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA PRENSA



Fonte: Do autor (2019).

O mapa de propagação de ruído da prensa permite visualizar a dimensão da poluição sonora gerada que por meio de medições pontuais não seria possível. Fica evidente que o ruído da prensa é impactante para a região, alcançando áreas distantes com NPS acima do limite de 60 dB (A), conforme pode ser observado na margem de transição entre o amarelo e o laranja claro.

Para a elaboração deste modelo de propagação foram considerados avaliações internas, portanto foi incluído na simulação o leiaute da planta permitindo entender a propagação do ruído na área interna.

As ondas sonoras geradas no impacto da prensa são irradiadas ao redor do equipamento tendo a energia diluída conforme encontra barreiras existentes na indústria e se distância da fonte. A ruído se propaga principalmente por meio das portas e no campo sonoro aberto, que pode ser verificado pelo roxo escuro.

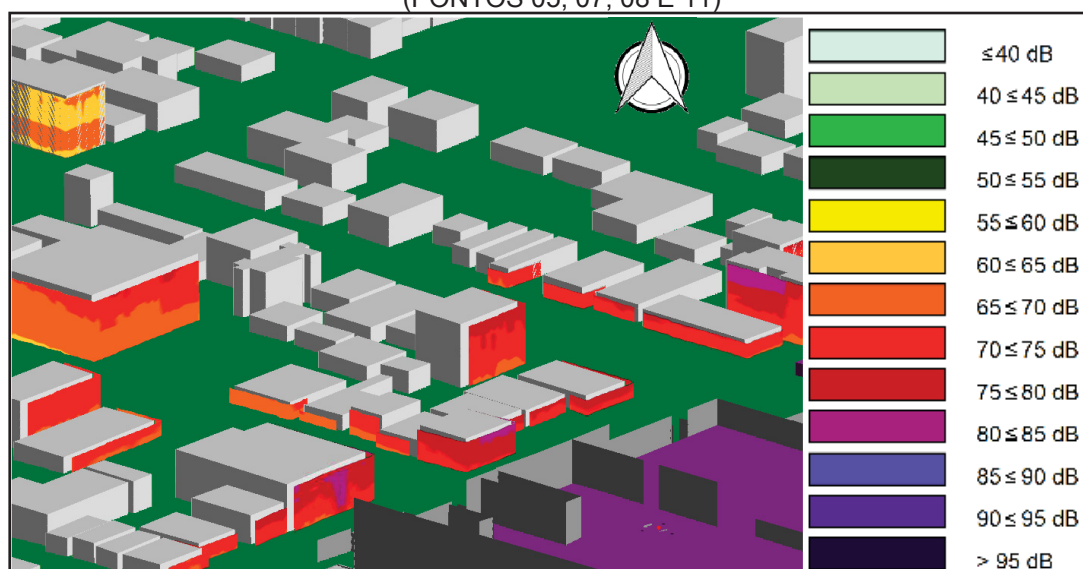
As residências mais próximas da prensa, a cerca de 40 m, estão expostas diariamente a um NPS na faixa de 75 a 80 dB(A), valor 20 dB(A) acima da legislação e incômodo para os moradores. Considerando o alcance do nível com 60 dB (A) e que por moradia vivem cerca de 3,09 pessoas, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010) e a Secretaria Municipal

de Planejamento e Desenvolvimento Econômico de São José dos Pinhais (2019) o ruído da prensa pode incomodar 3.915 pessoas, cerca de 32% do total de pessoas que moram no bairro estudado.

6.2.6 Análise das fachadas

A propagação horizontal do ruído já demonstrou a abrangência do impacto, entretanto o ruído também se propaga verticalmente e esse impacto é melhor avaliado em mapa com grid vertical, conforme figura 24 e 25.

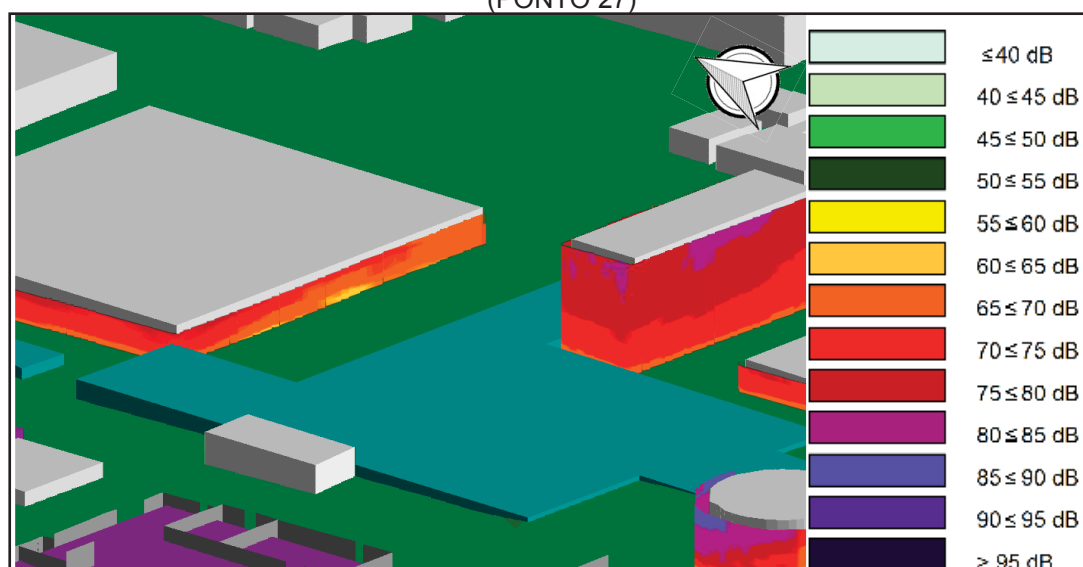
FIGURA 24 – MAPA 3D DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA PRENSA NA FACE FRONTAL (PONTOS 05, 07, 08 E 11)



Fonte: Do autor (2019).

A propagação do ruído gerado pela indústria, na avaliação vertical, alcança os andares superiores em maior nível sonoro. Para edificações simples de até 03 níveis foi comumente verificado o aumento na faixa de 05 dB(A), enquanto em edificações de até 25 metros há um aumento na faixa de 10 dB(A). Situação que também ocorreu na avaliação vertical do ruído de fundo. Moradores dos andares mais altos dos prédios próximos a indústria, estão expostos a NPS na faixa de 85 dB(A). A figura 25 considera a face posterior, região do ponto 27.

FIGURA 25 – MAPA 3D DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA PRENSA NA FACE POSTERIOR (PONTO 27)



Fonte: Do autor (2019).

O ruído da prensa atravessa todo complexo industrial e alcança a área posterior da planta industrial em níveis elevados, acima da legislação. O prédio residencial com 8 andares, o maior da região, está exposto no último andar a NPS na faixa de 85 dB(A). Quando comparado o último andar em relação ao nível térreo, que é relativamente protegido pela área de vegetação, verifica-se uma diferença de até 15 dB(A). Por meio desta avaliação vertical, verifica-se que mudar a prensa de local não será eficaz para atenuar o ruído gerado.

6.3 CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA

A caracterização específica do ruído da empilhadeira ocorreu no pior cenário identificado. Diariamente ocorre a circulação da empilhadeira na área externa da indústria entre as 07:00 horas até as 22:00 horas. Durante todo este período há movimentação de produtos ou embalagens. Para garantir a avaliação no pior cenário, o operador realizou somente o transporte de embalagens metálicas vazias em todo o perímetro de circulação. A caracterização do pior cenário é importante para definir a abrangência do impacto sonoro e garantir que as ações para redução do ruído sejam adequadas e suficientes.

A empilhadeira avaliada possui capacidade de até 03 toneladas, utiliza pneus maciços e alcança no máximo 20 Km/h.

Para realizar as medições as atividades geradoras de ruído externo foram interrompidas ou a medição foi interrompida até que o ruído intrusivo cessasse. Quando o ruído da empilhadeira era predominante, com diferença superior a 15 dB(A), considerou-se que os ruídos externos eram nulos, não alterando o NPS do ruído específico gerado pela empilhadeira (BRASIL, 2019).

Para a caracterizar o ruído da empilhadeira as 17 medições realizadas, nos pontos indicados conforme a figura 13, exigiram o monitoramento acumulado de 84 minutos. As medições foram analisadas e compiladas em resultados estatísticos, conforme a tabela 11.

TABELA 11 – RUÍDO DA EMPILHADEIRA

PONTO	L _{A10} dB(A)	L _{Aeq,1} dB(A)	L _{A90} dB(A)
PONTO 01	97,2	94,5	83,6
PONTO 02	86,4	83,2	73,2
PONTO 03	96,0	92,4	78,2
PONTO 04	86,9	84,5	75,1
PONTO 05*	--	94,0	--
PONTO 06*	--	95,7	--
PONTO 07	99,1	95,3	82,8
PONTO 08	89,5	85,0	72,2
PONTO 09	82,6	78,6	64,9
PONTO 10	77,0	74,0	63,1
PONTO 11	73,2	71,0	61,4
PONTO 12	71,2	68,0	62,9
PONTO 13	67,5	64,2	57,7
PONTO 14	97,2	94,0	82,0
PONTO 15	87,6	85,2	74,8
PONTO 16	97,4	93,9	83,2
PONTO 17	85,1	81,6	71,7

* Medições realizadas com o Analisador 2270 e 2250, respectivamente.

Fonte: Do autor (2019).

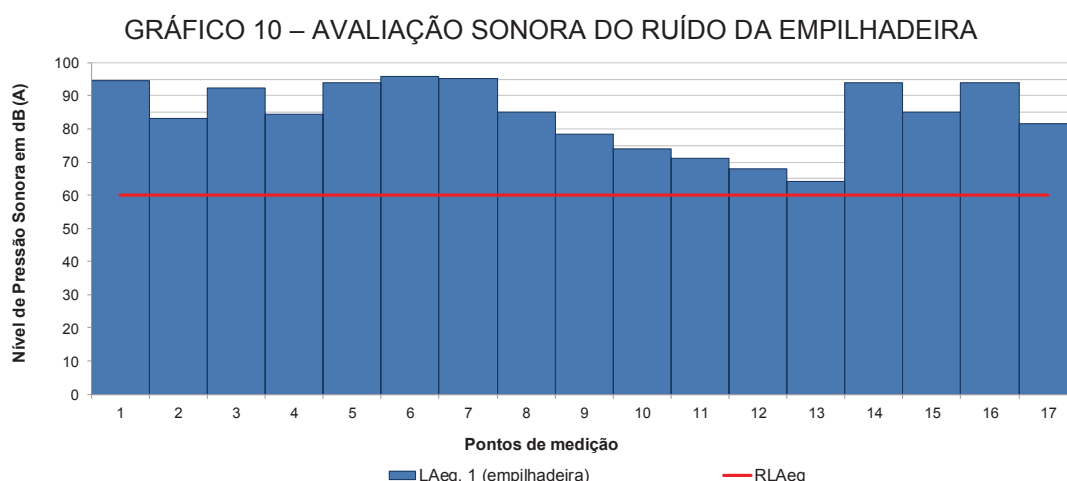
O ruído contínuo gerado pela empilhadeira possui características de som flutuante, pois o NPS varia significativamente (ABNT, 2014). Trata-se de uma característica própria do equipamento associado as condições do local e do produto transportado. A circulação da empilhadeira ocorre no perímetro delimitado havendo manobras e paradas dos equipamentos. As residências estão afastadas da área de circulação das empilhadeiras somente 15 metros,

portanto o NPS mostrado nos pontos 02 e 04 de $L_{Aeq, 1(\text{empilhadeira})}$ 83,2 dB e 84,5 dB, respectivamente mostram a dimensão do impacto sonoro, ao qual estas residências estão expostas. Estes valores estão bem acima da legislação municipal. Além disso, os níveis sonoros estão próximos do limite ocupacional que é de 85 dB(A), segundo a Norma Regulamentadora NR15 (Brasil, 2011).

O NPS nos pontos a 15 metros da via de circulação se mantém na faixa de 81 dB(A) a 85 dB(A), evidenciando que o ruído é constante, não obtendo grandes variações nos pontos com a mesma distância para a fonte.

O compilado do resultado obtido evidência que o principal ruído gerado pela indústria, considerando os valores dos níveis de pressão sonora que alcança áreas habitadas é o gerado pela empilhadeira.

O gráfico 10 apresenta o ruído equivalente obtido na série de medição.



Fonte: Do autor (2019).

Todos os pontos medidos obtiveram NPS acima do permissível da região, representando 100% das avaliações e mostrando uma situação crítica e elevado potencial de incômodo a comunidade. O ponto 13 está localizado a cerca de 150 metros da fonte e o NPS medido ainda é superior ao limite da região em cerca de 4,2 dB(A).

Foi verificado durante as medições que a forma de operar o equipamento altera significativamente os níveis de pressão sonora. Manobras ríspidas, aceleração constante e falta de prática do operador, seja com o equipamento ou com o produto transportado, contribuem na geração do ruído.

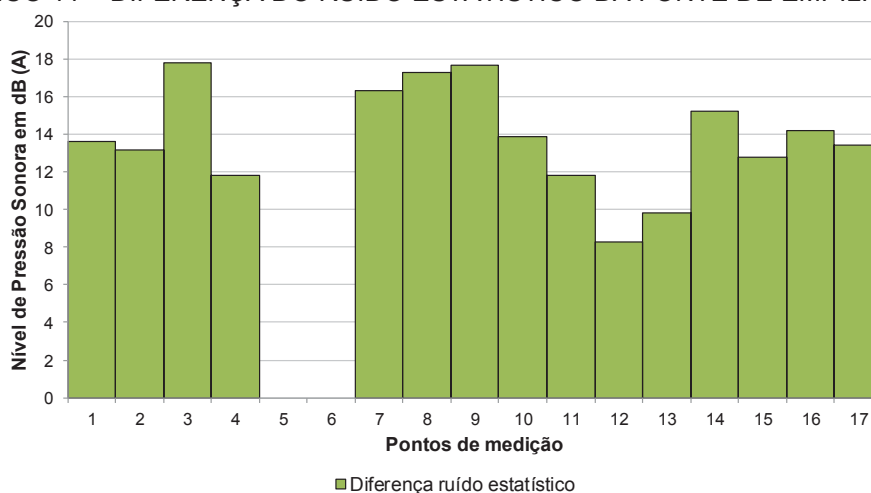
Destaca-se que o ruído gerado pela empilhadeira é constante conforme o equipamento se movimenta. Entretanto não há a ocorrência de trânsito a todo

o momento na área de circulação. O ruído ocorre conforme demanda do equipamento, contribuindo para um maior nível de incômodo, pois há períodos sem ruído e outros momentos de elevada constância.

6.3.1 Ruído estatístico

O gráfico 11 apresenta a diferença dos níveis estatísticos, L_{10} e L_{90} .

GRÁFICO 11 – DIFERENÇA DO RUÍDO ESTATÍSTICO DA FONTE DE EMPILHADEIRA.



Fonte: Do autor (2019).

O ponto com a maior diferença obtida está localizada a cerca de 02 metros da área de circulação da empilhadeira. Com cerca de 18 dB(A) entre o L_{10} e L_{90} , portanto o ruído da empilhadeira tem um alto potencial de gerar incômodo. Apesar da proximidade de 02 metros para fonte essa distância representa o alcance na área externa da indústria, considerando que a circulação da empilhadeira ocorre próximo à área de pedestres.

6.3.2 Mapeamento acústico

A definição da localização dos pontos de medição ocorreu priorizando medições distantes em áreas administradas pela indústria, onde é possível minimizar a ocorrência de ruídos externos. Como o ruído da empilhadeira apresentou uma uniformidade para os pontos até 15 metros, cuja diferença entre os pontos de mesma distância foi em torno de 03 dB(A) é provável que a propagação do ruído mantenha essa faixa de NPS no contorno da área de

circulação, ainda mais que o modelo de referência adotado já foi previamente ajustado para o ruído da prensa. Uma forma de verificar essa hipótese é por meio da simulação sonora. A partir dos resultados obtidos foi elaborado um modelo de simulação do ruído da empilhadeira, que após calibrado garantiu o desvio máximo de até 3 dB(A), entre os níveis medidos e simulado. A tabela 12 apresenta a calibração obtida no modelo para cálculo do mapa de ruído.

TABELA 12 – DESVIO DO NPS GERADO PELA PRENSA E CALCULADO.

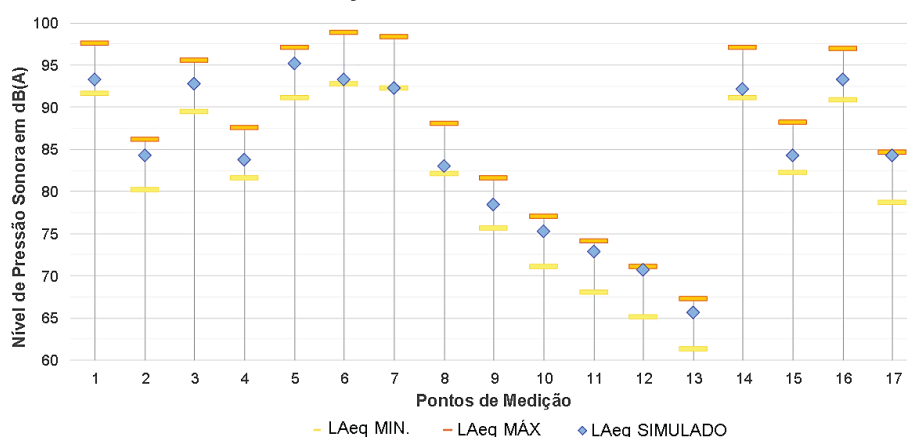
PONTO	L _{Aeq} dB(A) MEDIDO	L _{Aeq} dB(A) CALCULADO	DESVIO
PONTO 01	94,5	93,3	1,2
PONTO 02	83,2	84,3	(-1,1)
PONTO 03	92,4	92,8	(-0,4)
PONTO 04	84,5	83,8	0,7
PONTO 05	94,0	95,3	(-1,3)
PONTO 06	95,7	93,4	2,3
PONTO 07	95,3	92,4	2,9
PONTO 08	85,0	83,1	1,9
PONTO 09	78,6	78,5	0,1
PONTO 10	74,0	75,4	(-1,4)
PONTO 11	71,0	72,9	(-1,9)
PONTO 12	68,0	70,8	(-2,8)
PONTO 13	64,2	65,7	(-1,5)
PONTO 14	94,0	92,2	1,8
PONTO 15	85,2	84,4	0,8
PONTO 16	93,9	93,3	0,6
PONTO 17	81,6	84,3	(-2,7)

Fonte: Do autor (2019).

O modelo simulado se manteve dentro da faixa de ± 3 dB(A) em 100% das amostras, alcançando o recomendado por CEDR (2013). A maior diferença obtida foi de 2,9 dB(A) para o ponto 07, locado a cerca de 02 metros da fonte, enquanto o ponto mais distante, ponto 13, na mesma direção de medição, alcançou a diferença de (-1,5) dB(A).

A faixa de tolerância obtida pode ser verificada no gráfico 12 que apresenta o NPS obtido no modelo calibrado em relação a faixa de desvio possível, variação entre L_{Aeq} mínimo e L_{Aeq} máximo.

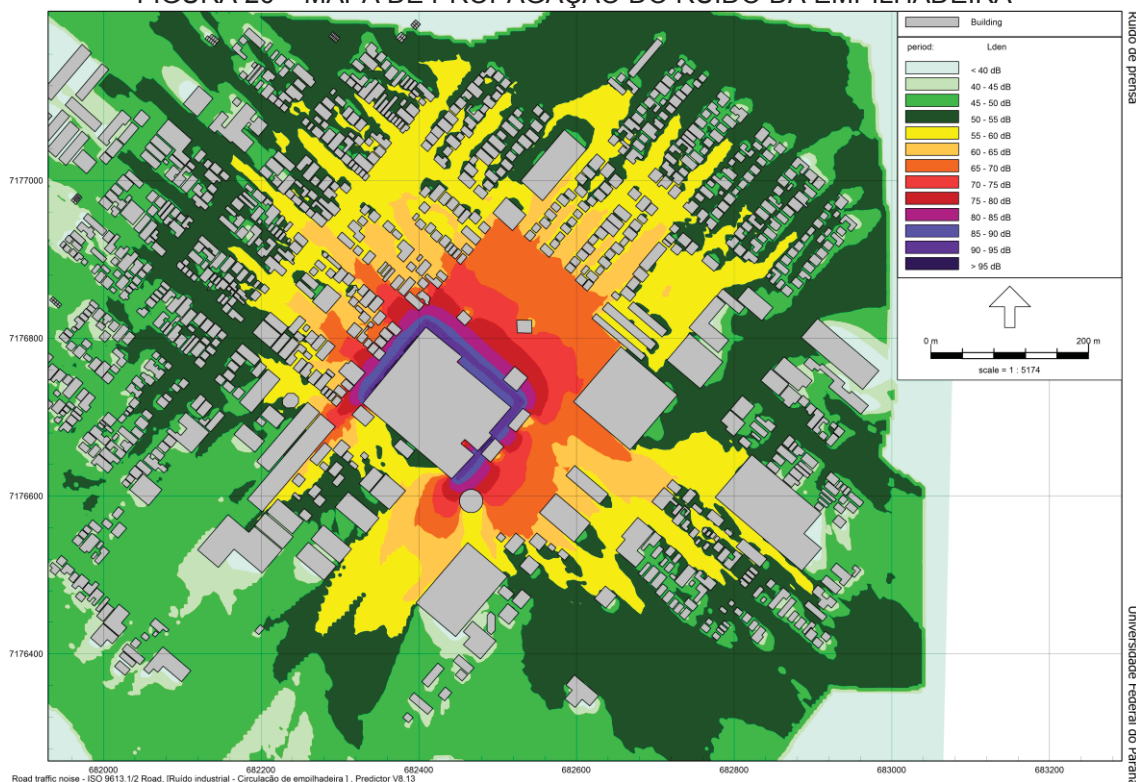
GRÁFICO 12 – FAIXA DE LAEQ PARA DESVIO DE ATÉ 3 DB DO MODELO DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA PRENSA.



Fonte: Do autor (2019).

O modelo simulado alcançou uma correlação média entre os pontos medidos e simulados de 98,2%. Considerando que os pontos estão na faixa de ± 3 dB (A) há um intervalo de confiança de 100% em que os valores calculados estão dentro da incerteza esperada. Assim o modelo é adequado para representar o impacto do ruído da empilhadeira (CEDR, 2013; WG-AEN, 2006). A figura 26 apresenta o diagnóstico de propagação do ruído de empilhadeira.

FIGURA 26 – MAPA DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA



Fonte: Do autor (2019).

O mapa de propagação do ruído permite visualizar claramente o impacto sonoro da empilhadeira sendo evidente que o NPS gerado pelo equipamento está muito acima do limite de 60 dB(A) para região.

O trajeto percorrido pela empilhadeira é facilmente percebido pela cor azul, mostrando níveis sonoros entre 85 e 90 dB(A). Estes níveis são gradualmente reduzidos, entretanto alcança as áreas habitadas com níveis sonoros na faixa de 80 até 90 dB(A), ou seja, cerca de 30 dB(A) acima do limite.

Apesar do ruído da empilhadeira ser mais elevado nas áreas adjacentes da indústria, verifica-se, quando comparado ao ruído da prensa, que o ruído possui uma abrangência menor. Portanto há um decaimento para o NPS de referência em regiões mais distantes da fonte.

Está situação se verifica em função da altura da fonte sonora, pois a altura da empilhadeira é de aproximadamente 1,20 metros enquanto para a prensa a altura é de 1,80 metros, além da característica de propagação específico para ruídos de rodovia.

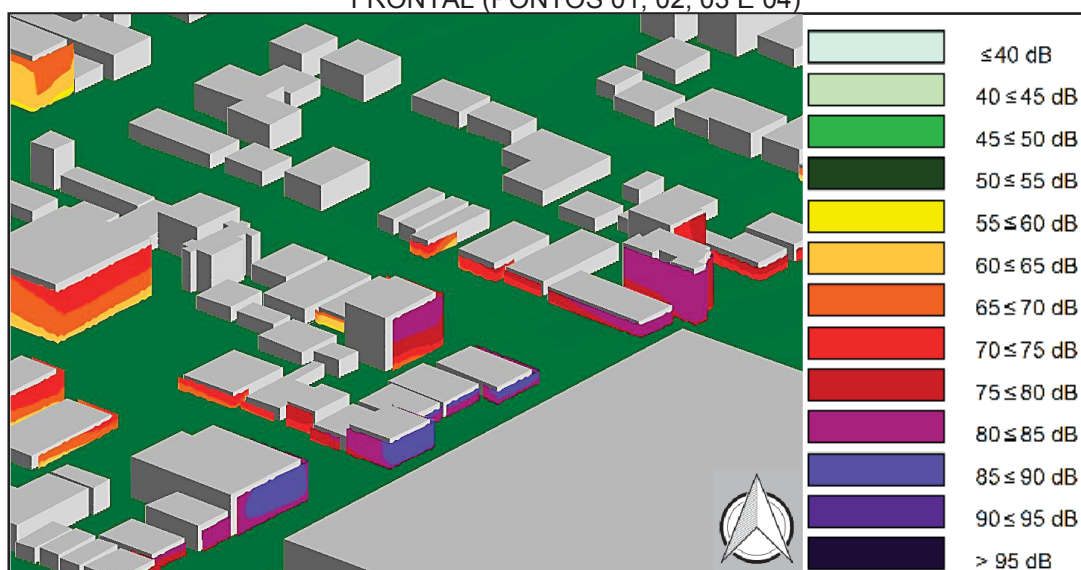
Considerando o alcance do nível com 60 dB (A) e que por moradia vivem cerca de 3,1 pessoas, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010) e a Secretaria Municipal de Planejamento e Desenvolvimento Econômico de São José dos Pinhais (2019) o ruído da empilhadeira pode incomodar cerca de 1569 pessoas, cerca de 13% do total de pessoas que moram no bairro estudado.

O impacto sonoro gerado pela empilhadeira é em conjunto com o de prensa os mais críticos para a indústria. Entretanto mesmo tendo menor abrangência, a poluição sonora gerada nas residências adjacentes supera todos os outros cenários, sendo considerada gravíssima perante a Lei Municipal nº 1.319 de 2008.

6.3.3 Análise das fachadas

O ruído horizontal que alcança as áreas habitadas está bem acima do limite legal e quando considerado a propagação vertical a situação é ainda mais crítica. A figura 27 mostra o mapa de ruído em grid vertical.

FIGURA 27 – MAPA 3D DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA NA FACE FRONTAL (PONTOS 01, 02, 03 E 04)

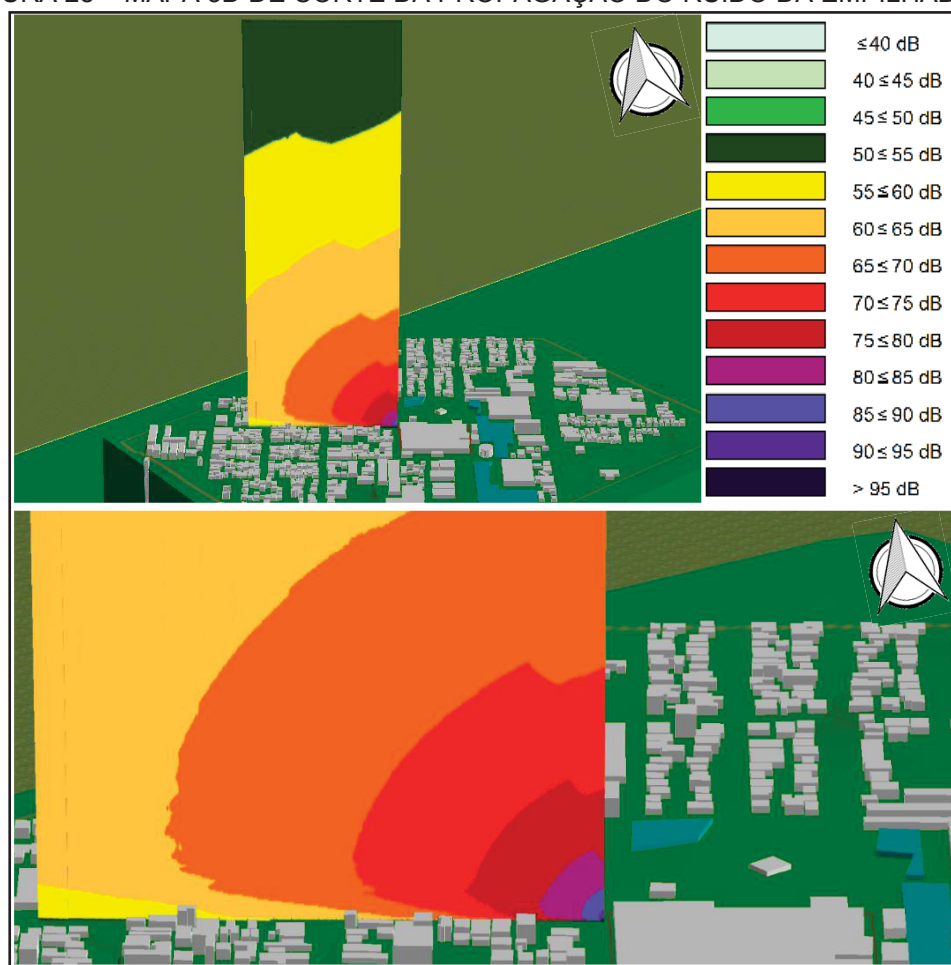


Fonte: Do autor (2019).

Novamente, como verificado nos outros mapas verticais, os andares superiores estão expostos a maior intensidade do ruído gerado, entretanto esses edifícios também se comportam como uma barreira, reduzindo a propagação sonora para as edificações posteriores. Edifícios distantes da fonte, mas que estão na área de campo sonoro livre, tem a propagação reduzida somente pelo decaimento por distância, sofrendo exposição a NPS mais elevados.

Para ampliar a forma de análise, foi realizado um grid vertical simulando um corte na área de propagação do ruído, figura 28. Assim é possível verificar a propagação tridimensional do ruído até o decaimento a níveis adequados para área residencial, simulando a propagação vertical do ruído, de forma semelhante ao mapa horizontal. Observando a simulação de corte em três dimensões é possível verificar que após cerca de 150 metros na vertical o NPS alcança a faixa de 60 dB(A), o que representa na média um prédio de 50 andares.

FIGURA 28 – MAPA 3D DE CORTE DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA.



Fonte: Do autor (2019).

Portanto a simulação permite verificar que nos primeiros 40 metros há um forte decaimento do NPS, variando de 95 dB(A) para 65 dB (A). Destaca-se que não foram incluídos na simulação possíveis alterações meteorológicas de temperatura e de vento, o que é comum em alturas mais elevadas

Independentemente desta situação, a avaliação do mapa de corte é válida pois permite estimar os níveis verticais de ruído que os prédios da região estão expostos, cuja altura nesta face não ultrapassa 12 metros. Apesar dos andares superiores serem mais expostos ao ruído externo, causando alterações na comunicação, distração e danos à saúde, a avaliação da propagação vertical do ruído é geralmente desconsiderada nos mapas estratégicos de avaliação do ruído (LEE, KANAPATHIPILLAI, 2011).

6.4 MEDIDAS MITIGATÓRIAS

Apesar da indústria estar na região desde a década de 70 e que na época não havia áreas habitadas próximas a planta, após quase 50 anos a prefeitura tem incentivado o desenvolvimento residencial na área.

Essa mudança ocasionou grande especulação imobiliária no bairro, o qual nos últimos anos tem assistido à realização de várias construções verticalizadas até 12 metros, aumentando a concentração de moradias e pessoas na área de impacto do ruído.

A legislação também tem exigido da indústria estudada maiores ações ambientais para controle e minimização da poluição sonora, seja por fiscalizações da secretaria municipal de meio ambiente do município ou de exigências durante o processo de licenciamento ambiental da planta.

Portanto, além do diagnóstico crítico estudado há uma tendência no fortalecimento das exigências para redução do impacto ambiental causado pela indústria. Seja por força de atendimento legal ou por maior intensidade de reclamações da comunidade.

Essa reclamação ocasionada pelo ruído industrial, pode ocasionar danos fisiológicos e psicológicos aos moradores expostos, sendo necessário a implantação de medidas para atenuar o ruído, criando um ambiente saudável, confortável e com qualidade de vida (BOZKURT; DEMIRKALE, 2017).

Observado isso, foram propostas algumas medidas mitigatórias para reduzir a poluição sonora gerada. Para elaboração das propostas, foram utilizados os modelos de cada cenário estudado, assim foi possível obter resultados confiáveis, além de avaliar a eficácia da ação proposta.

As medidas propostas para minimizar o ruído gerado por empilhadeira foram as seguintes:

- **Cenário 1:** Reduzir a velocidade das empilhadeiras para até 7 km/h;
- **Cenário 2:** Substituir o pavimento de circulação da empilhadeira por asfalto;
- **Cenário 3:** Implementar barreiras em áreas específicas na divisa da indústria;
- **Cenário 4:** Implementar barreiras em conjunto com os cenários 1 e 2;

As medidas propostas para minimizar o ruído gerado pelas prensas, foram as seguintes:

- **Cenário 1:** Construir barreiras em áreas específicas da indústria;
- **Cenário 2:** Enclausurar todo o pavilhão do setor de estamparia;
- **Cenário 3:** Construir conjunto de barreiras na área interna;

As medidas propostas para minimizar o ruído de fundo da indústria foram as seguintes:

- **Cenário 1:** Construir barreiras na divisa da indústria;
- **Cenário 2:** Construir barreiras na divisa da indústria e o enclausuramento da torre de resfriamento;

6.4.1 Ações para minimizar o ruído da empilhadeira;

Para minimizar o ruído gerado em empilhadeira, baseado nos resultados de caracterização do ruído, foi priorizado medidas alterando o NPS direto na fonte e por último, ações no percurso do ruído.

6.4.1.1 Limite de velocidade

A empilhadeira pode atingir a velocidade máxima de 20 Km/h. Entretanto é possível limitar o torque de arranque e reduzir a velocidade máxima, alterando a configuração do software do equipamento.

Para realizar esta avaliação a mesma empilhadeira avaliada anteriormente teve as suas configurações atualizadas, reduzindo a velocidade para 7 km/h, além da limitar o torque de arranque.

Com essa característica foi realizado uma campanha de medições em dois pontos, localizados a 02 e a 15 metros da área de circulação do equipamento. Baseado nos resultados anteriores, onde há pouca variação do NPS, em locais diferentes, mas na mesma distância da fonte, considerou que 02 medições eram suficientes para validar o mapa de predição acústica, utilizando o modelo anteriormente calibrado.

Os valores obtidos no modelo de predição acústica garantiram um desvio máximo de até 03 dB(A), entre os níveis pontuais medidos e o simulado. A tabela 13 apresenta os resultados do modelo de predição sonora.

TABELA 13 – DESVIO DO NPS MEDIDO PONTUALMENTE E CALCULADO CONSIDERANDO LIMITAR A VELOCIDADE DA EMPILHADEIRA.

PONTO	L_{Aeq} dB(A) DE PREDIÇÃO - MEDIDO VELOCIDADE REDUZIDA	L_{Aeq} dB(A) CALCULADO	DESVIO	$L_{Aeq,1}$ dB(A) ATUAL DIAGNÓSTICO
PONTO 01*	83,1	83,1	0,0	94,6
PONTO 02**	75,2	74,9	0,3	83,2
PONTO 03*	83,1	83,4	(-0,3)	92,4
PONTO 04**	75,2	74,5	0,7	84,5
PONTO 05*	83,1	84,0	(-0,9)	94,0
PONTO 06*	83,1	85,9	(-2,8)	95,8
PONTO 07*	83,1	83,1	0,0	95,3
PONTO 08**	75,2	74,4	0,8	85,0
PONTO 09	--	--	--	78,6
PONTO 10	--	--	--	74,0
PONTO 11	--	--	--	71,0
PONTO 12	--	--	--	68,0
PONTO 13	--	--	--	64,2
PONTO 14*	83,1	82,8	0,3	94,0
PONTO 15**	75,2	75,0	0,2	85,2
PONTO 16*	83,1	83,9	(-0,8)	93,9
PONTO 17**	75,2	74,9	0,3	81,6

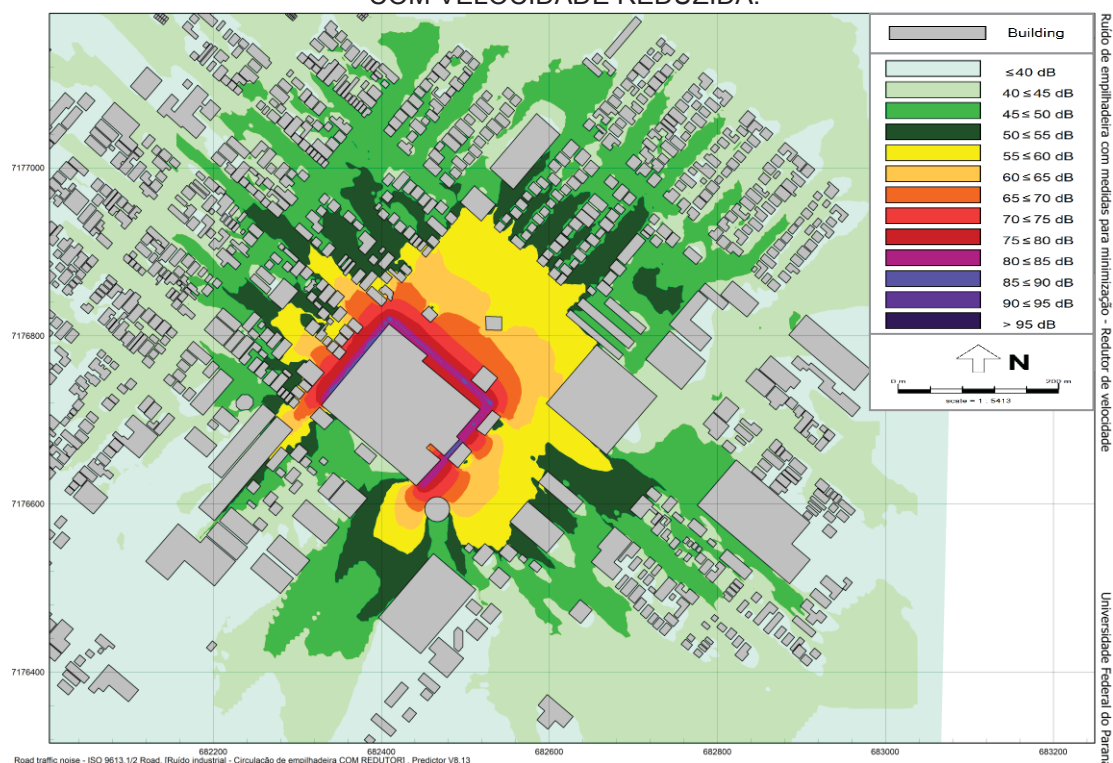
* Pontos a 02 metros da empilhadeira;

** Pontos a 15 metros da empilhadeira;

Fonte: Do autor (2019).

Portanto o modelo de predição sonora, baseado na redução da velocidade da empilhadeira, obteve bons índices alcançando a redução de aproximadamente 12 dB(A) ao lado do equipamento. Enquanto a 15 m da fonte a redução foi de aproximadamente 10 dB(A). A figura 29 apresenta a propagação do ruído neste cenário.

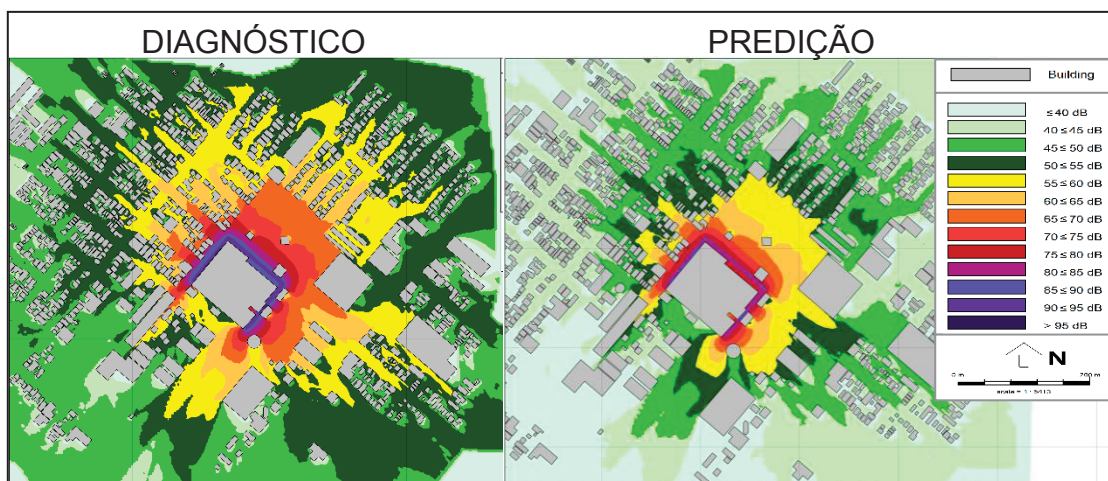
FIGURA 29 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA COM VELOCIDADE REDUZIDA.



Fonte: Do autor (2019).

A alteração no limite de velocidade do equipamento não é suficiente para garantir que o NPS abaixo do limite legal. Portanto, apesar da eficácia da ação em reduzir ruído gerado, o resultado obtido não foi eficiente para eliminar a poluição sonora, principalmente nas residências lindeiras. A figura 30 compara os resultados obtidos, entre o diagnóstico e o prognóstico esperado para o ruído.

FIGURA 30 – COMPARAÇÃO DO NPS GERADO PELA EMPILHADEIRA, ANTES E APÓS MEDIDAS PARA REDUÇÃO DO RUÍDO



Fonte: Do autor (2019).

Nesta comparação não é mais possível verificar no mapa de predição acústica a cor roxa, que representa a faixa de 90-95 dB(A). Enquanto a cor azul está fortemente minimizada e localizada somente no percurso da empilhadeira, a cor laranja que possui NPS até 70 dB(A), que antes alcançava um enorme faixa ao redor da planta, decai para uma faixa de até 30 m da fonte. O atual nível de pressão sonora da empilhadeira a 150 m de distância da fonte é de 64,2 dB(A) e na previsão deste cenário seria reduzido para a faixa entre 55 dB(A).

6.4.1.2 Alteração no pavimento

A atual área de circulação possui pavimentação em blocos de concreto que com o uso contínuo há formação de ondulações que contribuem no NPS gerado. Portanto uma alternativa coerente para redução do ruído na fonte é a substituição da pavimentação por piso que permita o tráfego mais maleável.

Para os estudos foi preferido o uso de asfalto, assim foi realizada mais uma campanha de medição em dois pontos localizados igualmente a 02 e a 15 metros da área de circulação. Baseado nos resultados anteriores foi mantido a medição em 02 pontos, pois são suficientes para validar o mapa de predição acústica, utilizando o modelo anteriormente calibrado. Os valores obtidos no modelo garantiram um desvio máximo de até 03 dB(A), entre os níveis pontuais medidos e o simulado. A tabela 14 apresenta os resultados do modelo.

TABELA 14 – DESVIO DO NPS MEDIDO PONTUALMENTE E CALCULADO CONSIDERANDO O CENÁRIO DE MUDANÇA DO PAVIMENTO PARA ASFALTO.

(continua)

PONTO	L_{Aeq} dB(A) DE PREDIÇÃO - MEDIDO VELOCIDADE REDUZIDA	L_{Aeq} dB(A) CALCULADO	DESVIO	$L_{Aeq,1}$ dB(A) ATUAL DIAGNÓSTICO
PONTO 01*	86,2	86,7	(-0,5)	94,6
PONTO 02**	78,1	77,7	0,4	83,2
PONTO 03*	86,2	86,2	0,0	92,4
PONTO 04**	78,1	77,3	0,8	84,5
PONTO 05*	86,2	86,8	(-0,6)	94,0
PONTO 06*	86,2	88,7	(-2,5)	95,8
PONTO 07*	86,2	85,9	0,3	95,3
PONTO 08**	78,1	77,3	0,8	85,0
PONTO 09	--	--	--	78,6

(conclusão)

PONTO	L_{Aeq} dB(A) DE PREDIÇÃO - MEDIDO VELOCIDADE REDUZIDA	L_{Aeq} dB(A) CALCULADO	DESVIO	$L_{Aeq,1}$ dB(A) ATUAL DIAGNÓSTICO
PONTO 10	--	--	--	74,0
PONTO 11	--	--	--	71,0
PONTO 12	--	--	--	68,0
PONTO 13	--	--	--	64,2
PONTO 14*	86,2	85,6	0,6	94,0
PONTO 15**	78,1	77,8	0,3	85,2
PONTO 16*	86,2	86,7	(-0,5)	93,9
PONTO 17**	78,1	77,7	0,4	81,6

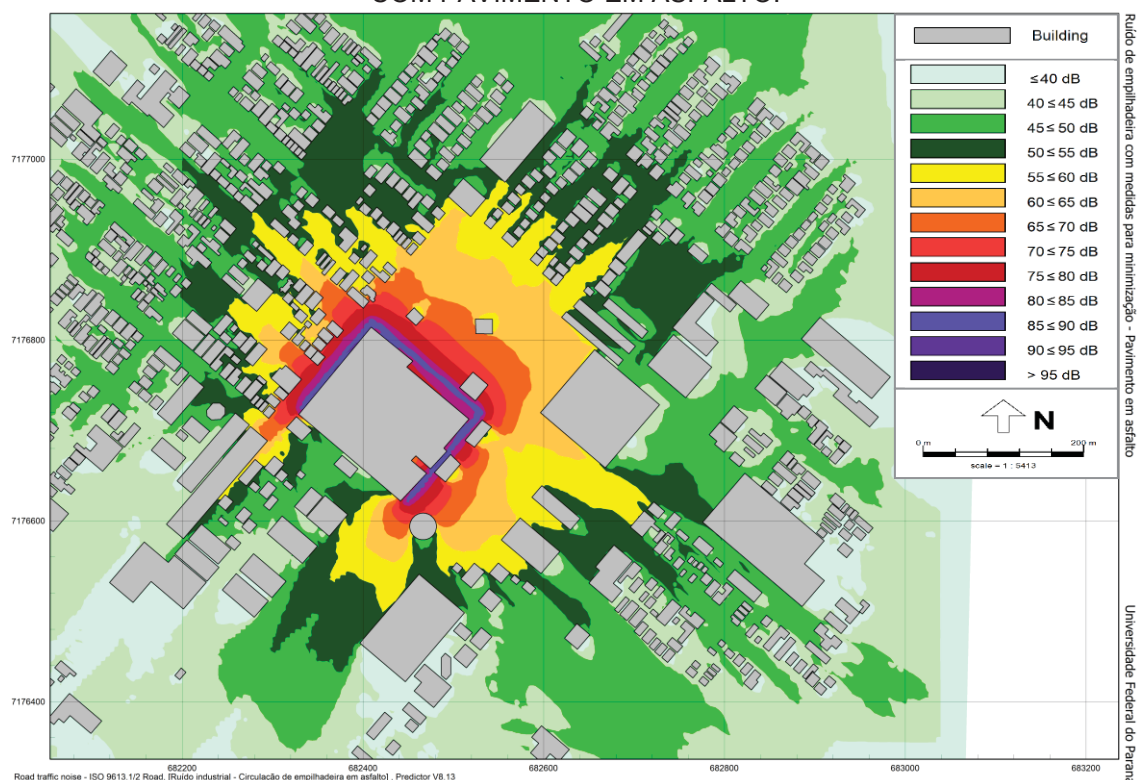
* Pontos a 02 metros da empilhadeira;

** Pontos a 15 metros da empilhadeira;

Fonte: Do autor (2019).

Portanto o modelo de predição sonora, baseado na alteração do pavimento, obteve índices de redução de aproximadamente 8 dB(A) ao lado do equipamento. Enquanto a 15 m da fonte a redução foi de aproximadamente 10 dB(A). A figura 31 apresenta a propagação do ruído neste cenário.

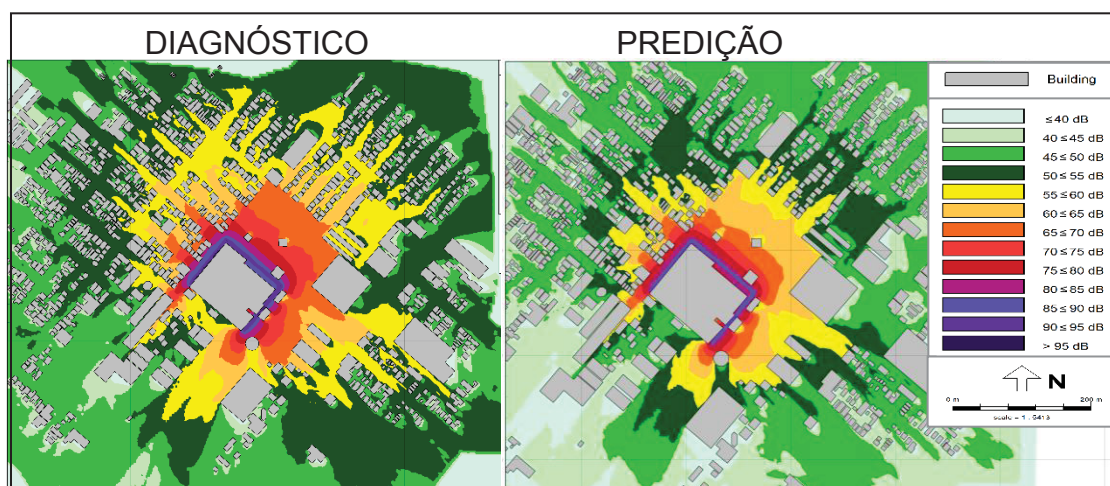
FIGURA 31 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA COM PAVIMENTO EM ASFALTO.



Fonte: Do autor (2019).

A alteração na pavimentação também não foi suficiente para garantir que o ruído alcance as áreas habitadas com NPS abaixo do limite legal para a região. Portanto, apesar da eficácia da ação em reduzir o ruído gerado, o resultado obtido também não foi eficiente para eliminar a poluição sonora, principalmente nas residências lindeiras. A figura 32 mostra a comparação dos resultados, entre o diagnóstico realizado e o prognóstico de propagação esperada para o ruído.

FIGURA 32 – COMPARAÇÃO DO NPS GERADO PELA EMPILHADEIRA, ANTES E APÓS PROPOSTA DE PAVIMENTAÇÃO.



Fonte: Do autor (2019).

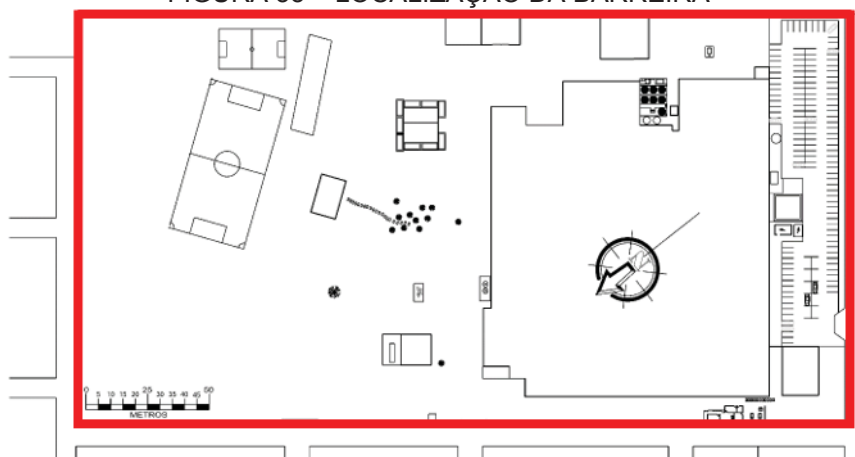
A comparação dos dois mapas permite verificar significativa redução da propagação do ruído em todas as faces da planta. Sendo que em alguns casos, como a região do ponto 13, houve o atendimento ao padrão de 60 dB(A), com nível de pressão sonora na faixa de 55-60 dB(A).

A faixa azul apesar de aparente é menos densa, enquanto as áreas adjacentes a cerca de 30 m da empilhadeira possuem NPS na faixa de 70-75 dB(A), menor que o cenário atual, mas levemente superior ao cenário proposto para redução da velocidade.

6.4.1.3 Construção de barreira

Outra medida mitigatória proposta foi a implementação de barreira acústica no limite das dependências da indústria. Portanto foi proposto a construção de um muro, em alvenaria com reboco nas duas faces, com altura de 4 metros e espessura de 20 cm. A figura 33 detalha a localização do muro.

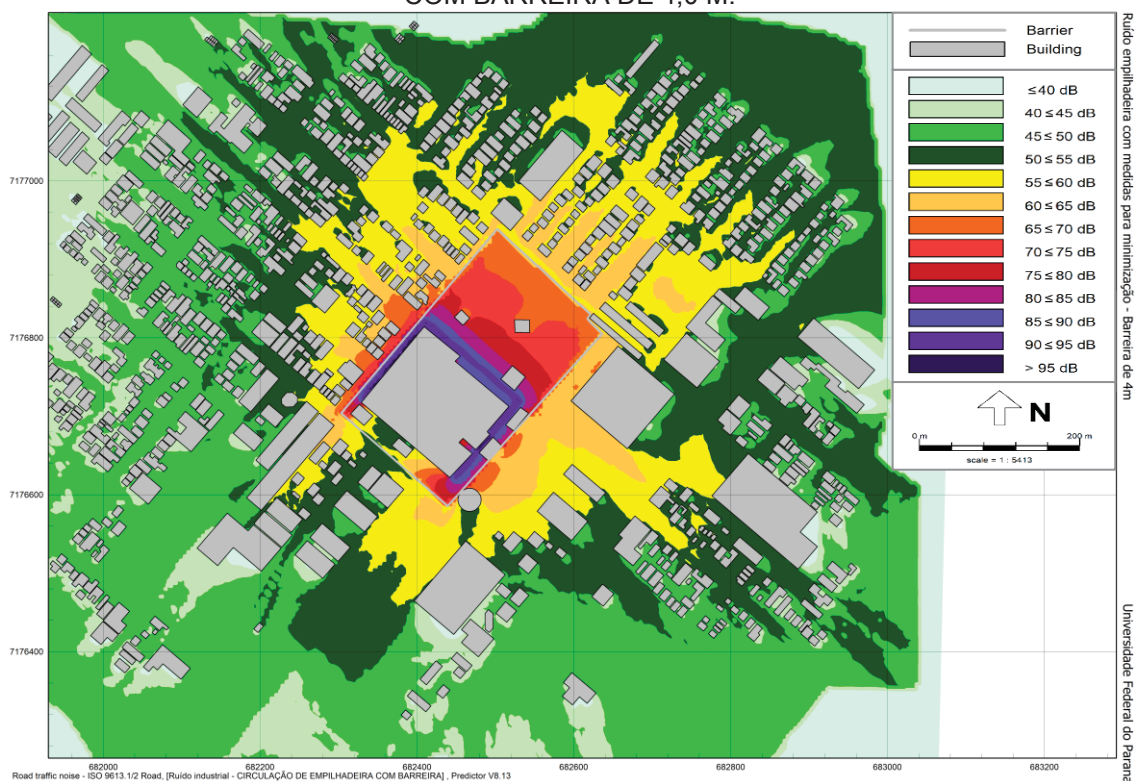
FIGURA 33 – LOCALIZAÇÃO DA BARREIRA



Fonte: Do autor (2019).

Para calcular a simulação foram consideradas todas as informações de referência do modelo calibrado e já validado para propagação do ruído da empilhadeira. A figura 34 apresenta a propagação do ruído no cenário com a barreira de atenuação.

FIGURA 34 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA COM BARREIRA DE 4,0 M.

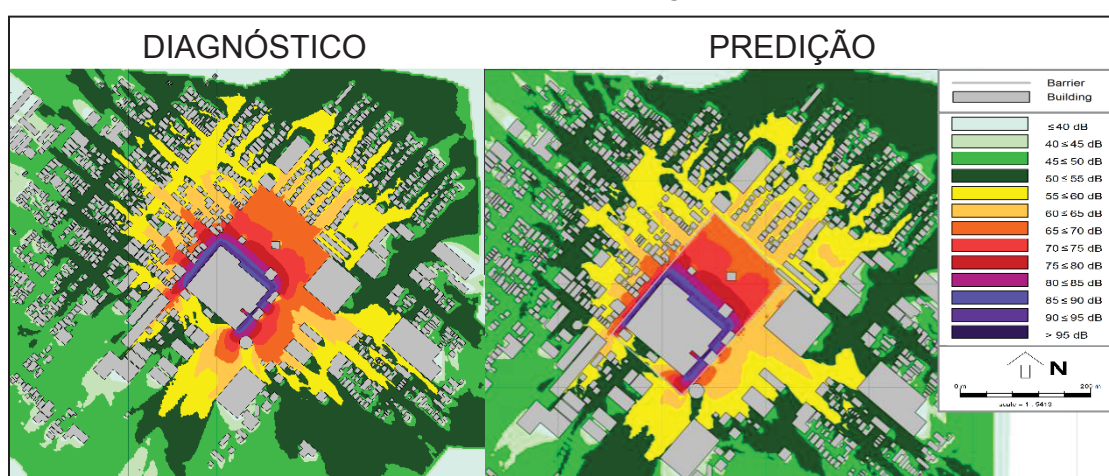


Fonte: Do autor (2019).

A construção da barreira também não foi suficiente para garantir que o ruído alcance áreas habitadas com NPS abaixo do limite legal para a região. Portanto, apesar da eficácia da ação em reduzir o ruído na área externa, o resultado obtido não foi eficiente para eliminar a poluição sonora na vizinhança.

Na região adjacente a barreira houve um decaimento de entre 10 dB(A) a 15 dB(A), com as residências lindeiras expostas até 75 dB(A). A figura 35 mostra a comparação dos resultados, entre o diagnóstico realizado e o prognóstico de propagação esperada para o ruído.

FIGURA 35 – COMPARAÇÃO DO NPS GERADO POR EMPILHADEIRA, ANTES E APÓS A BARREIRA NA DIVISA.



Fonte: Do autor (2019).

A comparação dos dois mapas permite verificar a redução do NPS somente nas regiões lindeiras a barreira. Entretanto após alguns metros há o retorno a níveis relativamente próximos aos do mapa de diagnóstico, criando uma sombra acústica. Situação que apesar de não reduzir a propagação do ruído nas áreas distantes, reduz o NPS nas residências expostas aos maiores níveis de ruído que antes eram de 90 dB(A). Assim, a sombra acústica formada não foi suficiente para reduzir o NPS principalmente na face norte da indústria.

6.4.1.4 Ações em conjunto para minimização do ruído

Nenhuma ação proposta individualmente foi capaz de atenuar o NPS para níveis adequados. Entretanto, considerando os resultados obtidos, acredita-se que as 3 ações propostas em conjunto são suficientes para atender aos limites legais e reduzir a possibilidade de incômodo e reclamações.

O cenário 04 considerou todas as ações propostas em conjunto:

- Reduzir a velocidade de operação das empilhadeiras para até 7 km/h;
- Substituir o pavimento de circulação da empilhadeira por asfalto e;
- Implementar barreiras em áreas específicas na divisa da indústria;

A tabela 15 mostra a comparação dos NPS medido durante o diagnóstico em relação ao NPS de predição do cenário 4, com ênfase para os pontos na região externa, próximo as residências.

TABELA 15 – COMPARAÇÃO DO NPS MEDIDO X PREVISTO

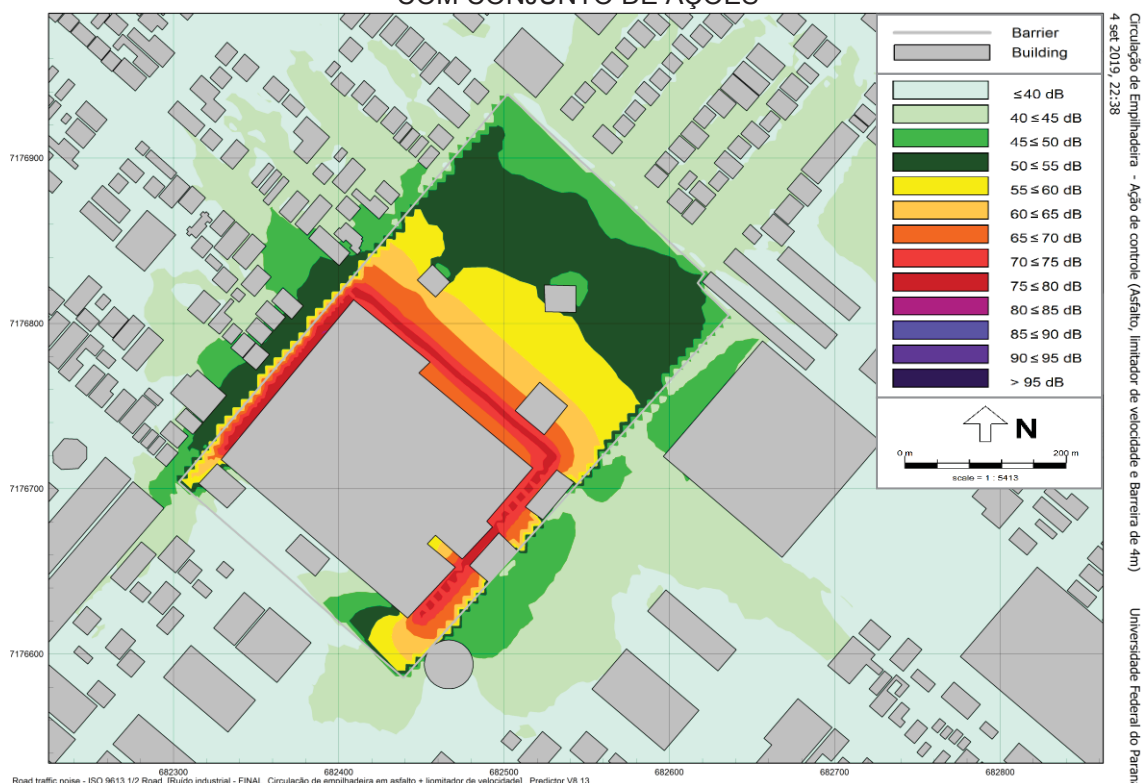
PONTO	L _{Aeq,1} dB(A) MEDIDO	L _{Aeq} dB(A) PREVISTO	REDUÇÃO dB(A)
PONTO 01	94,6	75,1	19,5
PONTO 02	83,2	52,3	30,9
PONTO 03	92,4	74,9	17,5
PONTO 04	84,5	51,7	32,8
PONTO 05*	94,0	74,8	19,2
PONTO 06*	95,8	76,7	19,1
PONTO 07	95,3	73,8	21,5
PONTO 08	85,0	65,2	19,8
PONTO 09	78,6	59,9	18,7
PONTO 10	74,0	56,8	17,2
PONTO 11	71,0	54,5	16,5
PONTO 12	68,0	52,8	15,2
PONTO 13	64,2	39,4	24,8
PONTO 14	94,0	73,5	20,5
PONTO 15	85,2	65,7	19,5
PONTO 16	93,9	74,7	19,2
PONTO 17	81,6	67,1	14,5

Fonte: Do autor (2019).

O resultado de NPS previsto após a implementação das ações é animador, evidenciando a redução drástica do ruído que neste cenário estaria em conformidade com a legislação municipal para poluição sonora.

A figura 36 apresenta o mapa de predição da propagação do ruído da empilhadeira caso seja estabelecido o limite de velocidade, alterado o pavimento para asfalto e construído barreira na divisa da indústria.

FIGURA 36 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA COM CONJUNTO DE AÇÕES

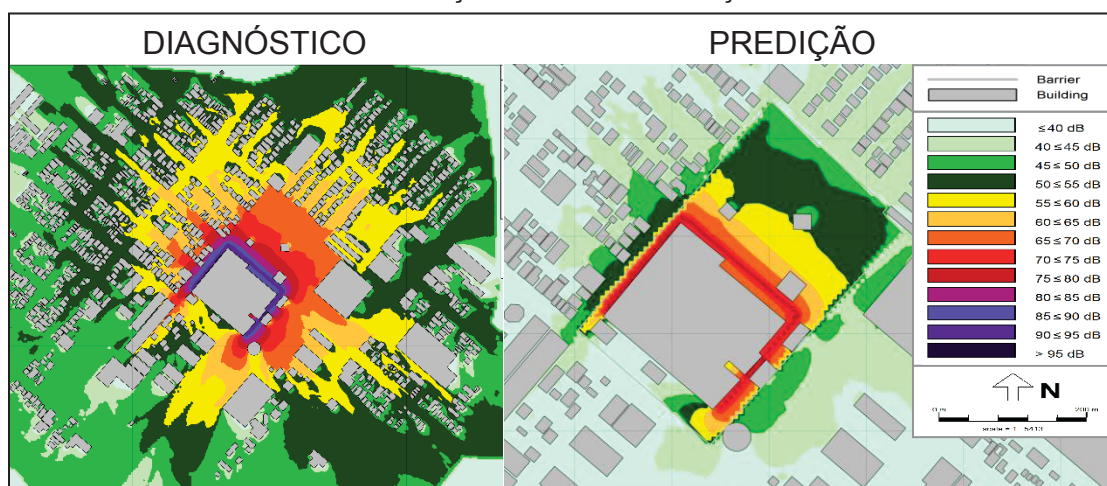


É notório que as três ações em conjunto reduzem o ruído propagado de forma substancial. Não somente atendendo aos critérios legais da região, mas reduzindo o ruído que extrapola as dependências da planta para níveis inferiores a 55 dB(A). O NPS obtido, permite, inclusive, a operação das empilhadeiras em qualquer horário, minimizando a possibilidade de incomodo ou reclamações.

Portanto com o resultado obtido no modelo de predição acústica, não haveria poluição sonora gerada pela fonte em questão, principalmente que após cerca de 15 metros da barreira sonora o NPS se mantém na faixa de 40 dB(A) a 45 dB (A), níveis suficientemente baixos e adequados para regiões residenciais (Brasil, 2019).

A figura 37 mostra a comparação dos resultados obtidos, entre o diagnóstico realizado e a prognóstico de propagação esperada para o ruído.

FIGURA 37 – COMPARAÇÃO DO NPS GERADO POR EMPILHADEIRA, ANTES E APÓS A REALIZAÇÃO DE TODAS AS AÇÕES

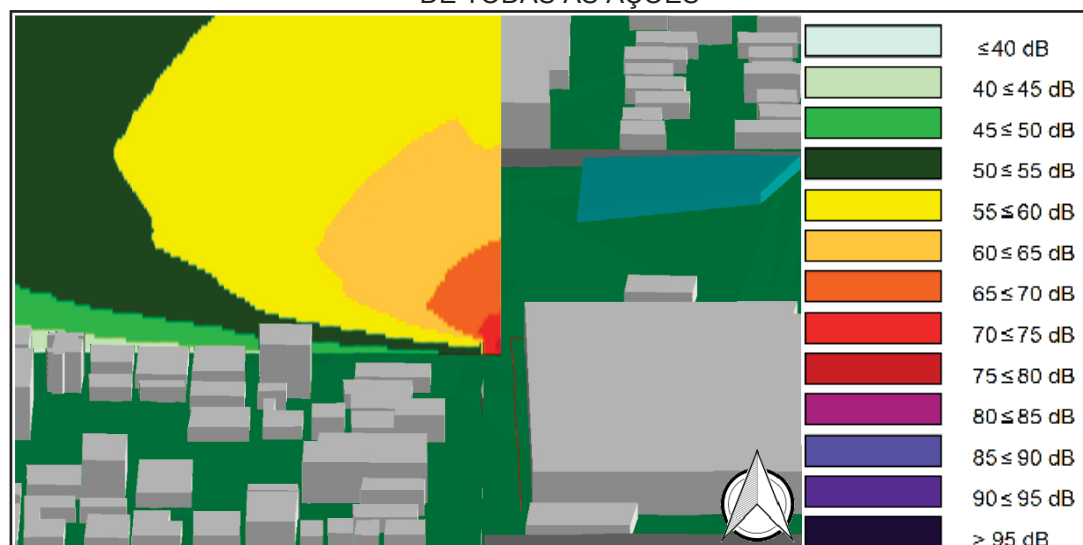


Fonte: Do autor (2019).

A comparação dos dois mapas permite verificar o potencial das medidas propostas, praticamente mantendo o ruído gerado no interior da planta. Neste cenário, não há pessoas expostas a níveis acima do recomendado.

Considerando somente a avaliação em grid horizontal a ação proposta parece a ideal, entretanto o ruído também possui propagação vertical e a figura 38 apresenta o resultado da simulação a partir de um corte na área de propagação do ruído, utilizando um grid vertical.

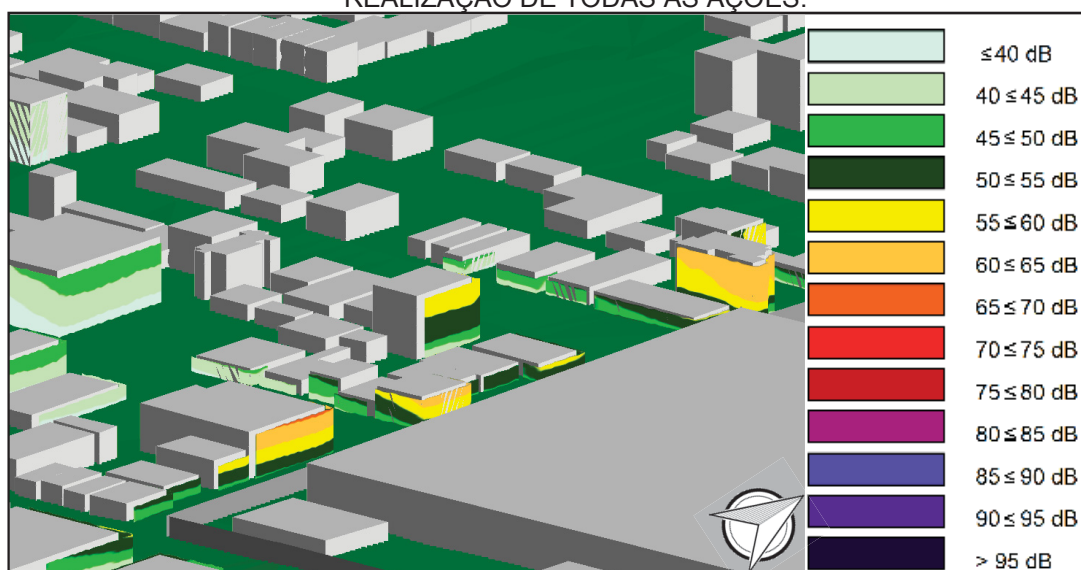
FIGURA 38 – MAPA 3D DE CORTE DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA APÓS A REALIZAÇÃO DE TODAS AS AÇÕES



Fonte: Do autor (2019).

A partir do mapa de corte é possível visualizar que a propagação vertical do ruído, apesar de ter sido reduzida drasticamente, ainda pode alcançar níveis de até 65 dB(A) em área habitadas. Os níveis abaixo de 4 metros estão na zona de penumbra acústica, enquanto acima desta altura a reflexão de borda faz com que as residências que possuem 03 andares, ou mais, estejam expostas a níveis superiores. A figura 39 avalia exclusivamente as fachadas das residências lindeiras mais altas e possivelmente expostas a este nível de ruído.

FIGURA 39 – MAPA 3D DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA NA FACE DE CORTE APÓS A REALIZAÇÃO DE TODAS AS AÇÕES.



Fonte: Do autor (2019).

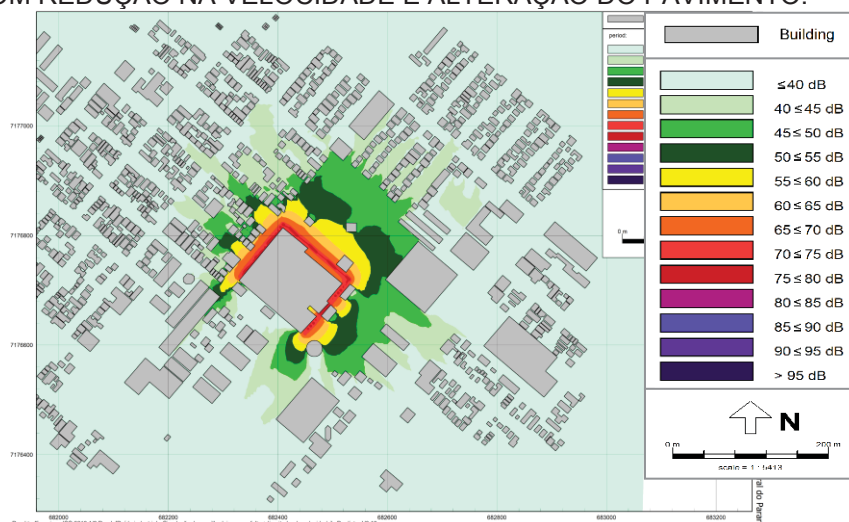
Na avaliação da fachada das edificações verifica-se que pontualmente, alguns andares apresentam ruído na faixa laranja superior a 60 dB (A). Entretanto a situação é tão específica, que as medidas propostas ainda são consideradas adequadas para minimizar o ruído gerado na comunidade, evitando reclamações e poluição sonora. Destaca-se ainda, que a situação considerada no modelo é a mais crítica para o transporte de empilhadeira, portanto majoritariamente o ruído estará abaixo da faixa de 60 dB(A).

Em curiosidade foram avaliados outros cenários para o ruído da empilhadeira, que compõem a realização de duas ações em conjunto.

- Cenário 1: Redução na velocidade e alteração do pavimento para asfalto;
- Cenário 2: Redução na velocidade e implementação da barreira de 4,0m;
- Cenário 3: Alteração do pavimento e implementação da barreira;

Como é possível realizar a redução na velocidade de circulação da empilhadeira com a alteração do pavimento, foi realizado um mapa de predição considerando essas duas ações e o resultado está exposto na figura 40.

FIGURA 40 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA COM REDUÇÃO NA VELOCIDADE E ALTERAÇÃO DO PAVIMENTO.

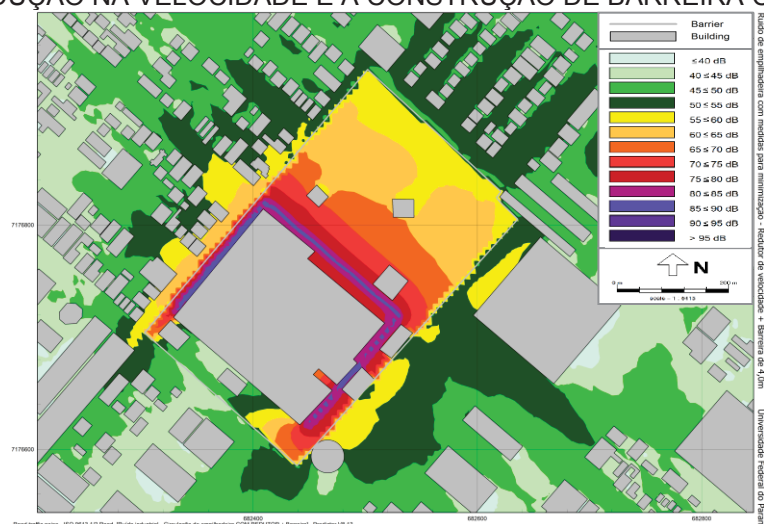


Fonte: Do autor (2019).

A proposta reduz fortemente o ruído que extrapola as dependências da empresa, entretanto ainda se percebe que os níveis alcançados nas regiões adjacentes estão acima da legislação, expondo edifícios a níveis de 70 dB(A).

Outro cenário avaliado é a redução da velocidade com a barreira de 4,0 m em toda a divisa da indústria. A figura 41 apresenta o mapa acústico.

FIGURA 41 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA COM REDUÇÃO NA VELOCIDADE E A CONSTRUÇÃO DE BARREIRA COM 4,0 M.

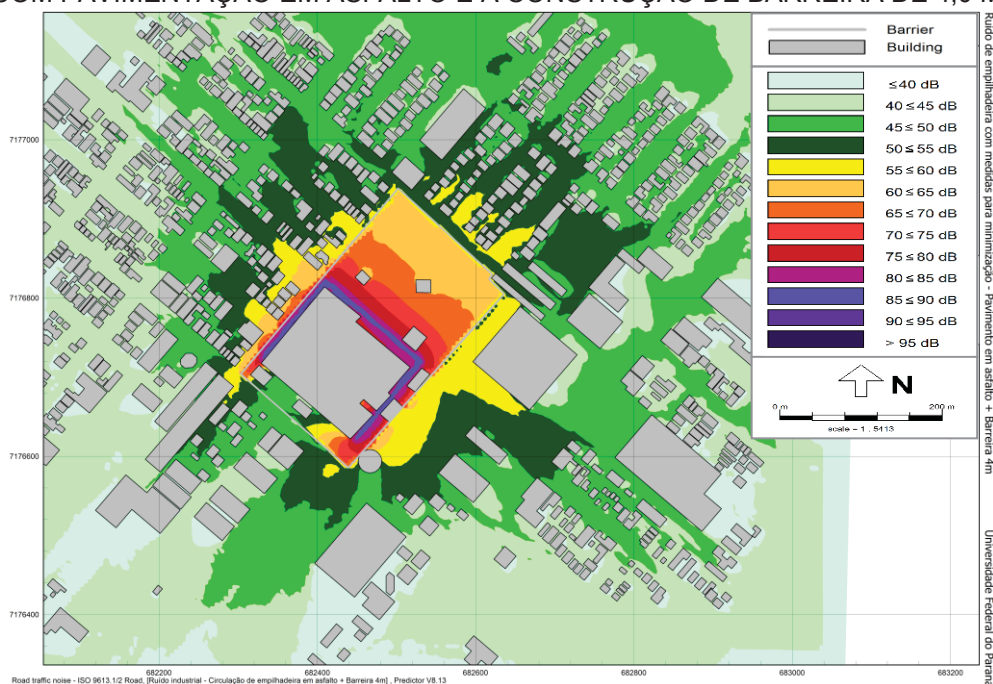


Fonte: Do autor (2019).

A redução na velocidade de circulação da empilhadeira, associado a construção da barreira apresentou bons resultados, reduzindo fortemente o impacto sonora na região. Entretanto, ainda não é suficiente pois verifica-se que residências estão expostas a níveis superiores ao limite de 60 dB(A).

O último cenário avaliado para a fonte de empilhadeira é a alteração do pavimento para asfalto em conjunto com a construção da barreira na região de divisa, cujo mapa de propagação está disponível na figura 42.

FIGURA 42 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA EMPILHADEIRA COM PAVIMENTAÇÃO EM ASFALTO E A CONSTRUÇÃO DE BARREIRA DE 4,0 M.



Este cenário também obteve bons resultados, mas não foram suficientes para reduzir o ruído propagado horizontalmente a níveis abaixo de 60 dB(A).

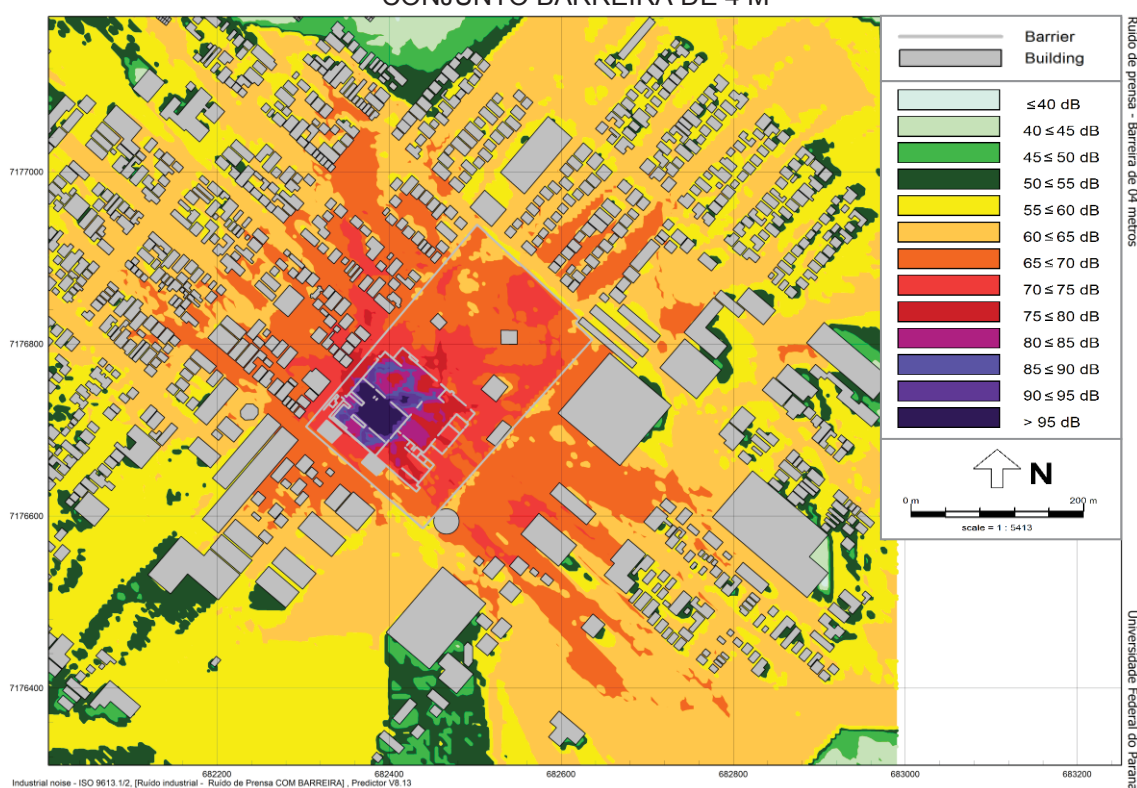
6.4.2 Ações para minimizar o ruído da prensa

Para minimizar o ruído gerado em prensa foi optado por atuar somente no percurso, pois apesar da Prensa excêntrica 600 toneladas ser a mais significativa existem outras prensas que também geram ruído semelhante, mas de menor NPS. Portanto a ação mais eficaz precisa ter abrangência para todos os outros equipamentos com estas características

6.4.2.1 Implementação da barreira

O mesmo cenário adotado para redução do ruído da empilhadeira foi utilizado para minimizar o ruído da prensa que extrapola as dependências da indústria. Para elaborar o modelo foram consideradas todas as informações de referência do modelo calibrado e já validado para propagação do ruído da empilhadeira. A figura 43 apresenta a propagação do ruído da prensa no cenário com a barreira.

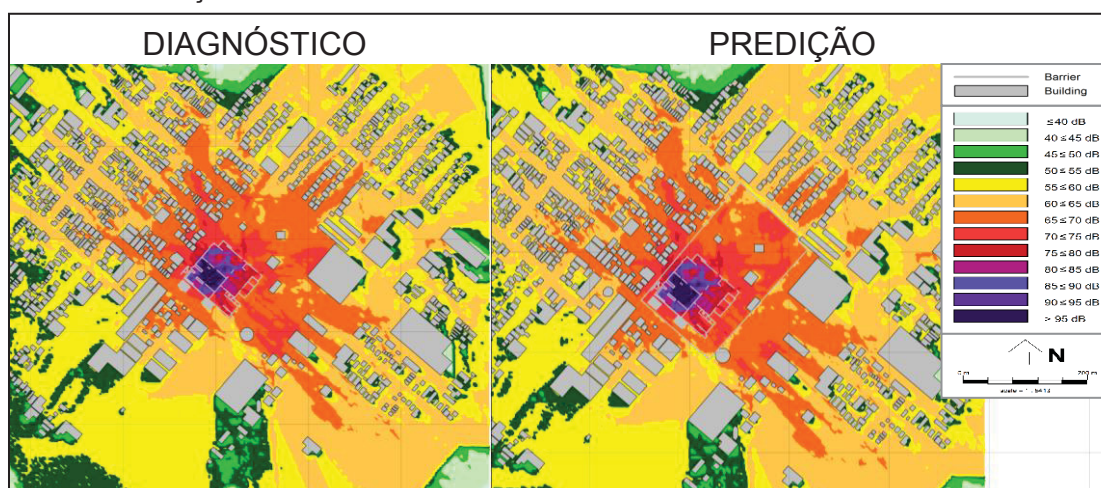
FIGURA 43 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA PRENSA COM CONJUNTO BARREIRA DE 4 M



Fonte: Do autor (2019).

A barreira de 4 metros de altura construída no perímetro de divisa da indústria não apresentou redução na propagação do ruído gerado pela prensa. A figura 44 permite melhor comparar os resultados.

FIGURA 44 – COMPARAÇÃO DO NPS GERADO PELA PRENSA, ANTES E APÓS A REALIZAÇÃO DA BARREIRA NO PERÍMETRO DE CERCAMENTO DA PLANTA.



Fonte: Do autor (2019).

Não é possível identificar alterações significativas na área avaliada, portanto, a sombra acústica criada pela barreira de 4 m não é adequada para as características do ruído da prensa.

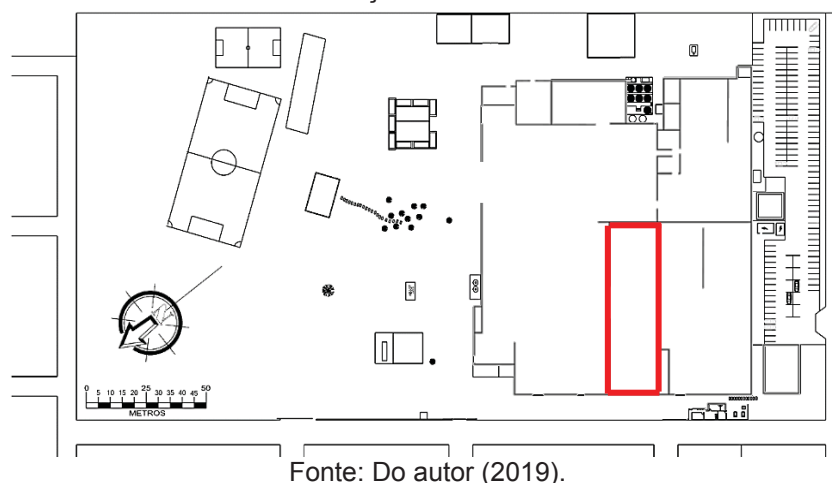
Foi identificado redução pontual do ruído na área adjacente a barreira, principalmente nas barreiras construídas em áreas mais distantes da prensa. Tendo o nível de pressão sonora reestabelecido próximo aos valores de diagnóstico após poucos metros da barreira. Na sombra acústica a barreira obteve um decaimento de até 15 dB(A).

Considerando que a barreira de 04 metros na divisa territorial da indústria não é adequada, foi optado por aproximar a barreira acústica em direção a fonte. Portanto, o próximo cenário compreende construir a barreira diretamente no setor de estamparia, que possui várias prensas, entre excêntrica e hidráulica.

6.4.2.2 Barreira o setor das prensas

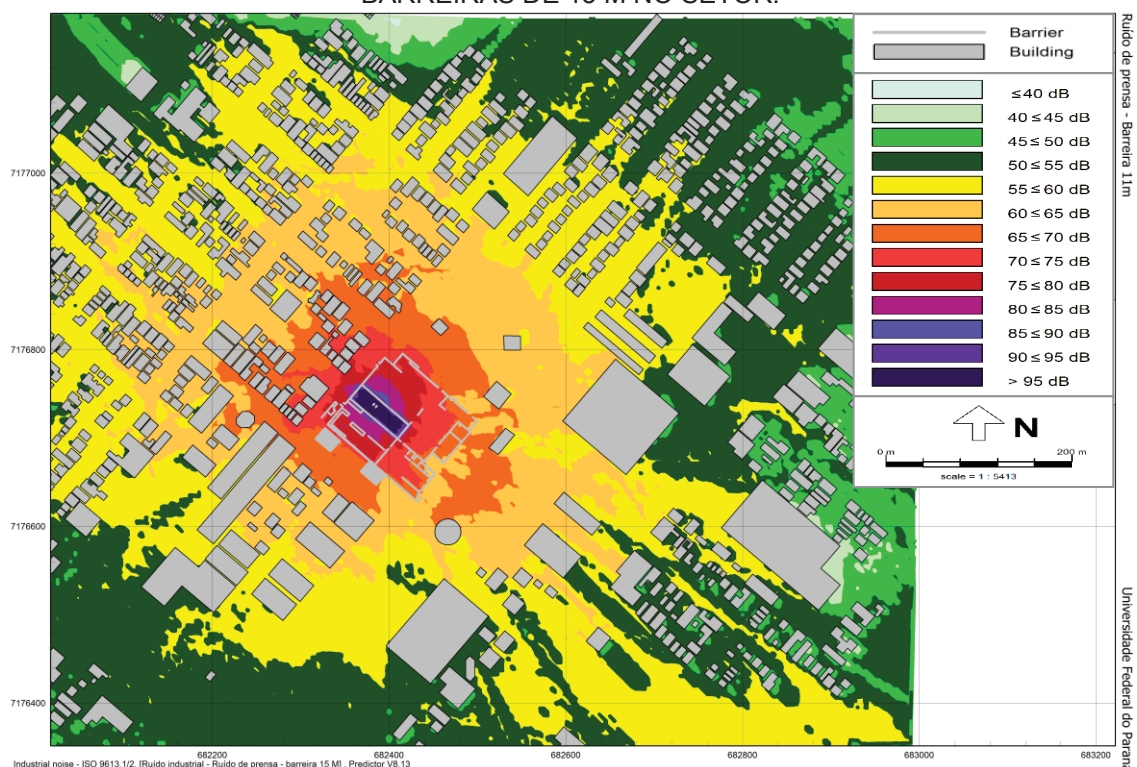
O setor de prensas compreende 11 equipamentos que formam a área de estamparia da planta, assim a ação proposta para minimizar o ruído da prensa tem abrangência para todos esses equipamentos similares. Na figura 45 as linhas vermelhas representam a posição da barreira proposta.

FIGURA 45 – AMPLIAÇÃO DA BARREIRA NO SETOR



A barreira proposta possui altura de 13 m e espessura de 20 mm. A simulação deste cenário pode ser observada na figura 46.

FIGURA 46 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA PRENSA COM BARREIRAS DE 13 M NO SETOR.



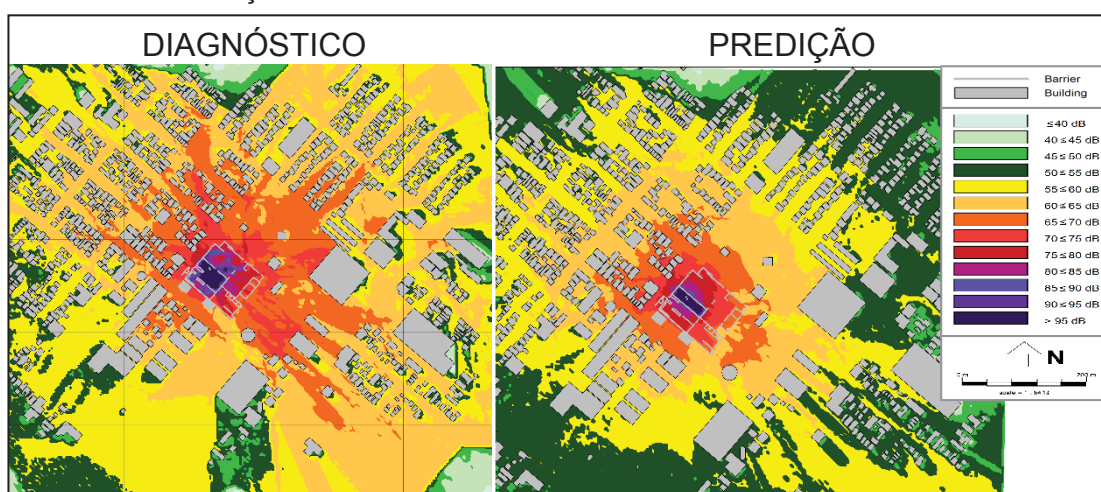
Fonte: Do autor (2019).

A barreira de 13 m de altura está no limite do telhado existente na indústria e até mesmo do exequível na prática. A barreira garantiu maior decaimento do ruído na região sul e leste da planta, o que já era esperado, pois

nesta face há menos barreiras existentes conforme verificado no diagnóstico de propagação do ruído da prensa na área interna da planta.

Apesar de ter obtido redução do nível de pressão sonora que alcança as áreas habitadas, o ruído gerado pela prensa não garantiu o atendimento aos critérios de aceitação para a região. As residências instaladas na face adjacente as prensas estão expostas a níveis de pressão sonora de até 80 dB(A) e nas demais faces da indústria o ruído superou a faixa dos 60 dB(A). A figura 47 permite melhor comparar os resultados do diagnóstico e predição acústica.

FIGURA 47 – COMPARAÇÃO DO NPS GERADO PELA PRENSA, ANTES E APÓS A REALIZAÇÃO DA BARREIRA COM 13 M NO SETOR DE ESTAMPARIA.



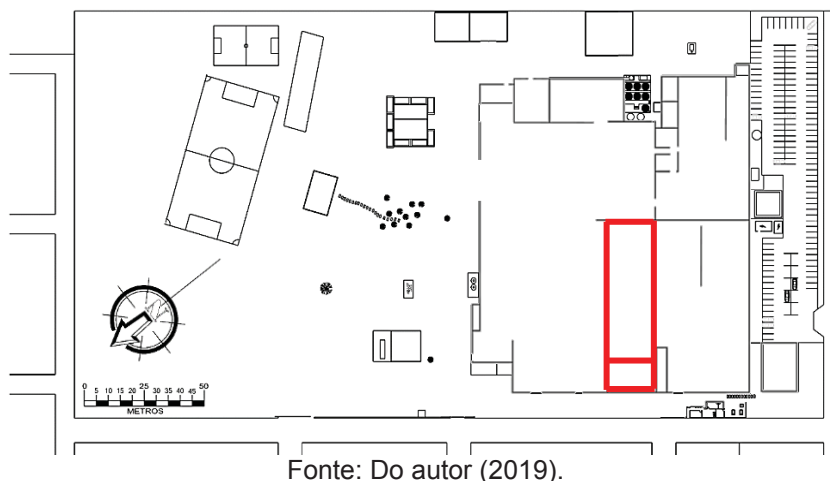
Fonte: Do autor (2019).

Neste cenário, a ação proposta obteve resultado superior ao cenário anterior, com boa atenuação do ruído quando comparado com a propagação de diagnóstico. O ruído na faixa de até 55 dB(A) que antes era mínimo foi ampliado para uma grande extensão da área de estudo.

É notório a redução do nível de pressão sonora em todo o perímetro da indústria, onde a faixa laranja com NPS de até 65 dB(A) foi minimizado a uma extensão de área próxima à indústria. Quando avaliado a região das residências lindeiras, próximo ao pavilhão das prensas, verifica-se que o nível de pressão sonora não decaiu, mantendo a faixa de ruído verificada no diagnóstico.

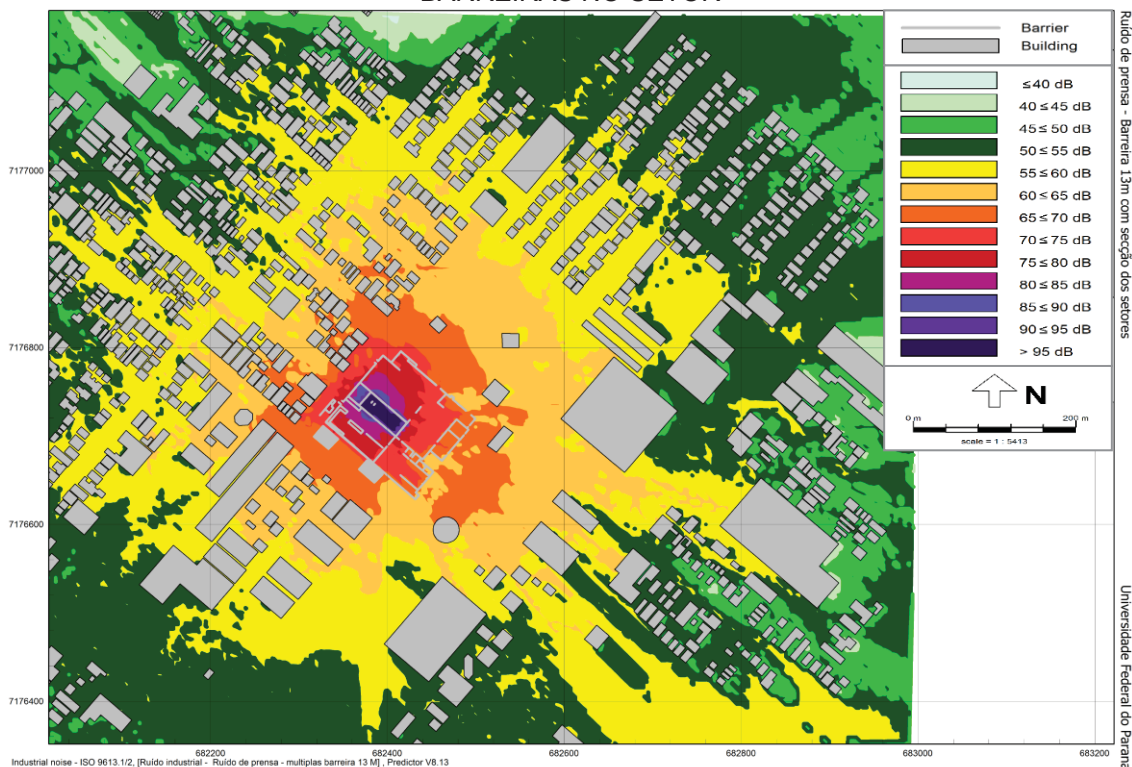
Assim, para minimizar o ruído nas residências que estão expostas a 80 dB(A), foi proposto ampliar as barreiras no setor das prensas, a partir da construção de uma barreira adicional próximo a prensa excêntrica 600 ton. A figura 48 por meio das linhas vermelhas representa a nova posição da barreira.

FIGURA 48 – NOVA PROPOSTA DE ENCLAUSURAMENTO



A barreira também possui altura de 13 m e espessura de 20 mm. Entretanto há uma separação de área, que é plausível em função da característica do setor, que possui neste espaço uma área de apoio chamada ferramentaria, responsável pela manutenção das matrizes. A simulação deste cenário é observada na figura 49.

FIGURA 49 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA PRENSA COM BARREIRAS NO SETOR



A proposta obteve a redução do ruído na região das residências lindeiras, amenizando a exposição dos moradores a nível de pressão sonora na faixa entre 70-75 dB(A). Na área interna da planta também houve redução, que pode ser verificado pela coloração azul proeminente.

A atenuação possível está no limite das alternativas exequíveis tecnicamente com o software Predictor e operacionalmente, considerando as características da planta industrial. Neste cenário, o ruído atinge as áreas externas por transmissão, não sendo possível neste software alterar o tipo de material da construção por outro com característica de absorção acústica. Todavia, neste cenário é verificado uma significativa melhora no NPS da área externa, reduzindo o número de pessoas expostas ao ruído acima do RL_{Aeq} para cerca de 729 pessoas.

Portanto a proposta promove uma redução no NPS da região, ameniza o alcance das ondas sonoras e melhora o bem-estar e a qualidade de vida de milhares de pessoas da comunidade. A proposta ainda reduz a abrangência do incômodo a uma faixa limitada de residências, a cerca de 200 m da indústria.

A tabela 16 mostra a comparação dos NPS medido durante o diagnóstico em relação ao NPS de predição, com ênfase para os pontos na região externa.

TABELA 16 – COMPARAÇÃO DO NPS MEDIDO X PREVISTO

(continua)

PONTO	$L_{Aeq,1}$ dB(A) MEDIDO	L_{Aeq} dB(A) PREVISTO	REDUÇÃO dB(A)
PONTO 01	80,4	78,8	1,6
PONTO 02	87,6	81,4	6,2
PONTO 03	64,8	63,3	1,5
PONTO 04	74,8	67,8	7,00
PONTO 05	67,0	61,6	5,4
PONTO 06	62,9	58,8	4,1
PONTO 07	73,6	70,3	3,3
PONTO 08	74,0	64,9	9,1
PONTO 09	90,0	73,4	16,6
PONTO 10	69,7	67,7	2,0
PONTO 11	66,8	61,3	5,5
PONTO 12	65,4	63,6	1,8
PONTO 13	63,6	63,4	0,2
PONTO 14	103,7	85,6	18,1

TABELA 16 – COMPARAÇÃO DO NPS MEDIDO X PREVISTO

PONTO	(conclusão)		
	$L_{Aeq,1}$ dB(A) MEDIDO	L_{Aeq} dB(A) PREVISTO	REDUÇÃO dB(A)
PONTO 15	119,1	120,5	-1,4
PONTO 16	120,3	120,7	-0,4
PONTO 17	113,7	116,0	-2,3
PONTO 18	100,2	85,4	14,8
PONTO 19	97,0	82,4	14,6
PONTO 20	92,6	74,5	18,1
PONTO 21	75,8	67,1	8,7
PONTO 22	102,6	104,4	-1,8
PONTO 23	88,6	75,3	13,3
PONTO 24	87,8	75,9	11,9
PONTO 25	65,00	65,6	-0,6
PONTO 26	82,9	70,7	12,2
PONTO 27	73,0	68,9	4,1

Fonte: Do autor (2019).

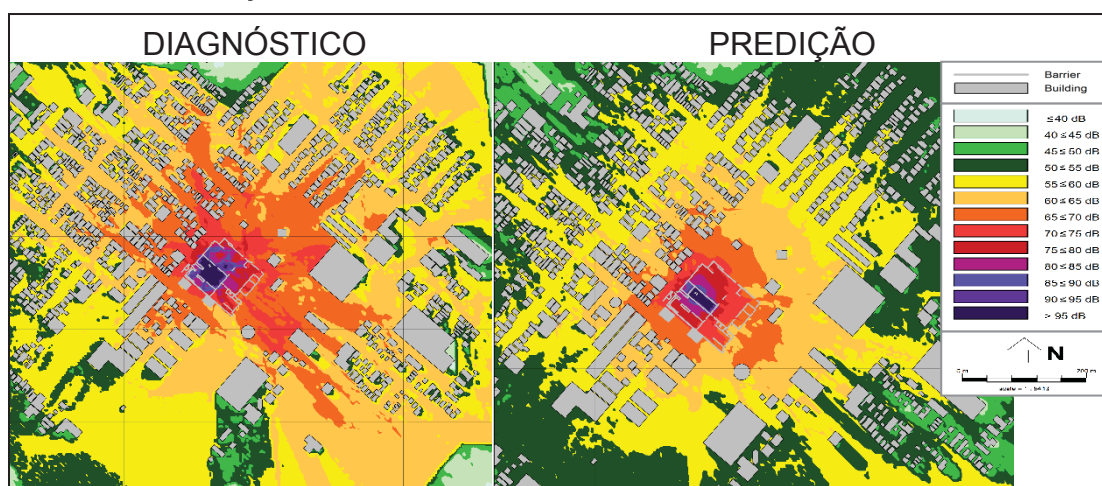
Há uma grande oscilação nas reduções obtidas que está associado à arquitetura já existente na planta. Desta forma, a construção da barreira proposta influenciou os pontos mais suscetíveis, como o ponto 09 e 20 que reduziram 16,6 dB(A) e 18,1 dB(A), respectivamente. Anteriormente, havia um campo sonoro livre que permitia a propagação do ruído e que agora, neste novo cenário, as ondas sonoras são bloqueadas pela barreira proposta.

O ponto externo mais próximo da indústria obteve uma redução de somente 1,6 dB(A) pois não foi alterado a característica da barreira existente no local, apenas aumentado a altura. Assim os pontos que anteriormente já eram protegidos por alguma barreira, não obtiveram grandes oscilações no NPS.

É possível verificar que alguns pontos na área interna de enclausuramento do setor tem o NPS aumentado em até 2,3 dB(A), como no ponto 17. Essa situação ocorre em função da elevada área de reflexão proposta no cenário, piorando as condições insalubres no interior da planta industrial.

Apesar das reduções do nível de pressão sonora, a comunidade continua exposta a ruído acima dos critérios legais. A figura 50 permite melhor comparar os resultados do diagnóstico e de predição acústica.

FIGURA 50 – COMPARAÇÃO DO NPS GERADO PELA PRENSA, ANTES E APÓS A REALIZAÇÃO DA BARREIRA COM 13 M NO SETOR DE ESTAMPARIA.



Fonte: Do autor (2019).

A barreira proposta buscou complementar o cenário anterior com medidas para reduzir o ruído nas residências mais próximas, tendo obtido uma redução em cerca de 05 dB(A). A redução obtida ficou abaixo do esperado, mantendo o NPS na faixa de 70-75 dB(A). Para as outras faces da indústria, como não houve alteração das medidas construídas, também não houve alteração na propagação do ruído.

Esse cenário considerou a avaliação em grid horizontal, entretanto o ruído pode ocasionar maiores danos ambientais, quando considerado a propagação vertical. A figura 51 mostra a propagação em grid vertical, considerando a fachada das residências lindeiras mais expostas ao ruído da prensa.

FIGURA 51 – MAPA 3D DE PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DA PRENSA NA FACE FRONTAL



Fonte: Do autor (2019).

Verifica-se que os prédios lindeiros ainda continuam com NPS acima do limite da legislação de 60 dB(A), com os andares superiores expostos a até 80 dB(A), inferior a faixa de 85 dB(A) verificados na condição de diagnóstico em grid vertical.

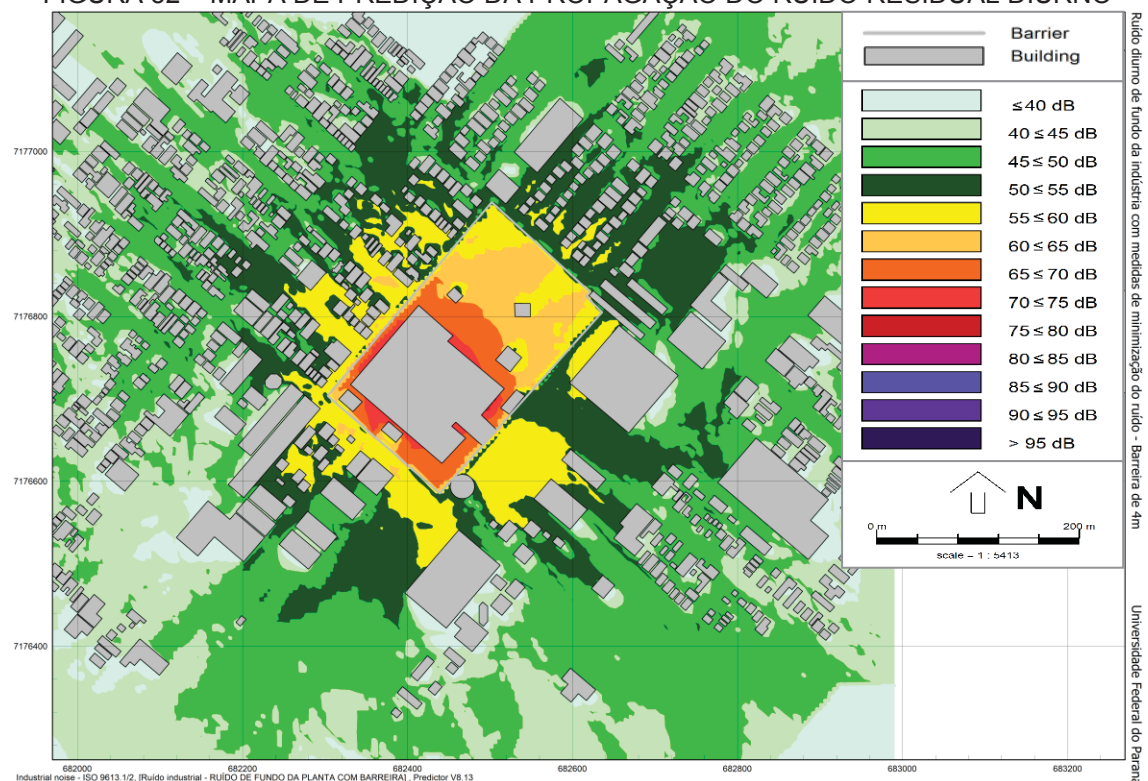
A cerca de 150 m da divisa da indústria, mesmo após todas as ações propostas, o ruído da prensa expõe prédios a níveis de até 65 dB(A). O ruído da prensa possui características que atrapalham a eficiência da barreira, a principal delas é o NPS elevado em grande faixa de bandas de frequência.

6.4.3 Ações para minimizar o ruído residual da planta

As propostas para minimizar o ruído residual industrial em ambos os períodos, diurno e noturno, considerou as ações já previstas anteriormente, como a construção de um muro em alvenaria com altura de 4,0 m.

A figura 52 apresenta o mapa de predição para o ruído residual industrial diurno após a construção da barreira de 4,0 m.

FIGURA 52 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO RESIDUAL DIURNO

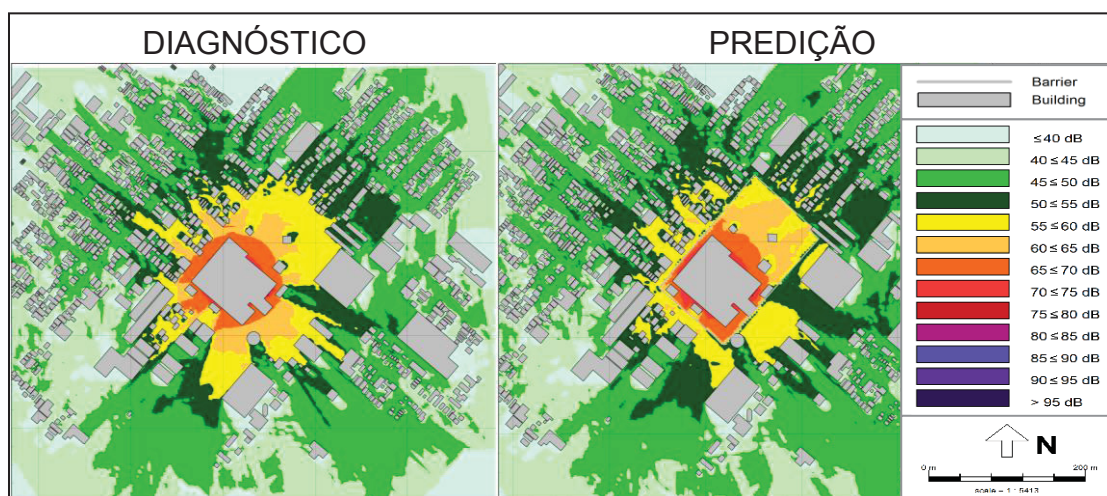


Fonte: Do autor (2019).

Verifica-se que o ruído extrapola as dependências da indústria com NPS abaixo do RL_{Aeq} . Pontualmente, foram verificadas pequenas áreas externas em laranja, na faixa de 60-65 dB(A), mas que foi considerado irrelevante por tratar-se do ruído residual em uma região com grande presença de ruídos externos, associado a uma grande diferença de NPS das fontes significativas.

A figura 53 compara os resultados do diagnóstico e prognóstico para o ruído residual da planta.

FIGURA 53 – COMPARAÇÃO DO NPS RESIDUAL, ANTES E APÓS A BARREIRA NA DIVISA DA INDÚSTRIA.



Fonte: Do autor (2019).

Quando comparado ao ruído da prensa ou empilhadeira, a abrangência de alcance do ruído residual diurno é muito menor, entretanto pode ocasionar incômodo para a comunidade. A barreira contribui para manter os níveis mais elevados no interior da planta, reduzindo o alcance da faixa laranja para o interior das dependências da indústria.

A tabela 17 compara o NPS obtido no diagnóstico em relação ao NPS de predição, com ênfase para os pontos próximos as residências.

TABELA 17 – COMPARAÇÃO DO NPS MEDIDO X PREVISTO

(continua)

PONTO	$L_{Aeq,1}$ dB(A) MEDIDO	L_{Aeq} dB(A) PREVISTO	REDUÇÃO dB(A)
PONTO 01	60,4	66,8	(-6,4)
PONTO 02	64,1	68,5	(-4,4)
PONTO 03	65,2	54,5	10,7
PONTO 04	65,7	58,8	6,9

TABELA 17 – COMPARAÇÃO DO NPS MEDIDO X PREVISTO

PONTO	L _{Aeq,1} dB(A) MEDIDO	L _{Aeq} dB(A) PREVISTO	(conclusão)
			REDUÇÃO dB(A)
PONTO 05	67,3	56,7	10,6
PONTO 06	67,3	58,9	8,4
PONTO 07	65,4	57,3	8,1
PONTO 08	62,6	62,9	(-0,3)
PONTO 09	63,8	63,4	0,4
PONTO 10	57,2	59,8	(-2,6)
PONTO 11	64,6	63,8	0,8
PONTO 12	70,1	69,3	0,8
PONTO 13	68,4	68,2	0,2
PONTO 14	60,5	58,2	2,3
PONTO 15	60,9	57,2	3,7
PONTO 16*	67,3	52,7	14,6
PONTO 17*	69,8	50,0	19,8

*Medições sofrem influência do meio externo.

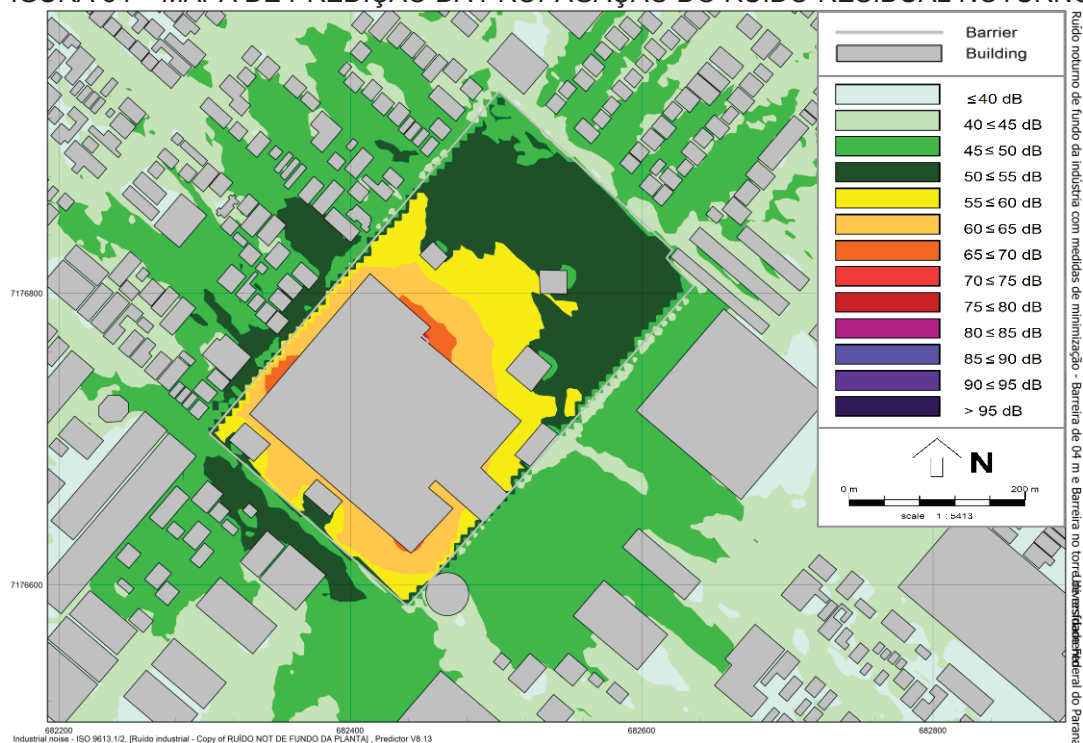
Fonte: Do autor (2019).

Quanto mais próximo da barreira melhores foram os resultados de redução previstos. Assim os pontos 05, 06 e 07 obtiveram redução entre 8,1 dB(A) a 10,6 dB(A), enquanto pontos externos mais afastados obtiveram redução de até 3,7 dB(A) no ponto crítico 15.

Para minimizar o ruído residual industrial noturno foi proposto, além da construção do muro em alvenaria com altura de 4,0 m, a instalação de barreiras na torre de resfriamento, que durante o período noturno se sobressai dos demais ruído existentes.

Portanto, o ruído que antes tinha um campo sonoro livre agora é bloqueado em todo o seu contorno, permitindo a redução do NPS nas áreas adjacentes. A figura 54 mostra o mapa de propagação sonora considerando este cenário.

FIGURA 54 – MAPA DE PREDIÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO RESIDUAL NOTURNO

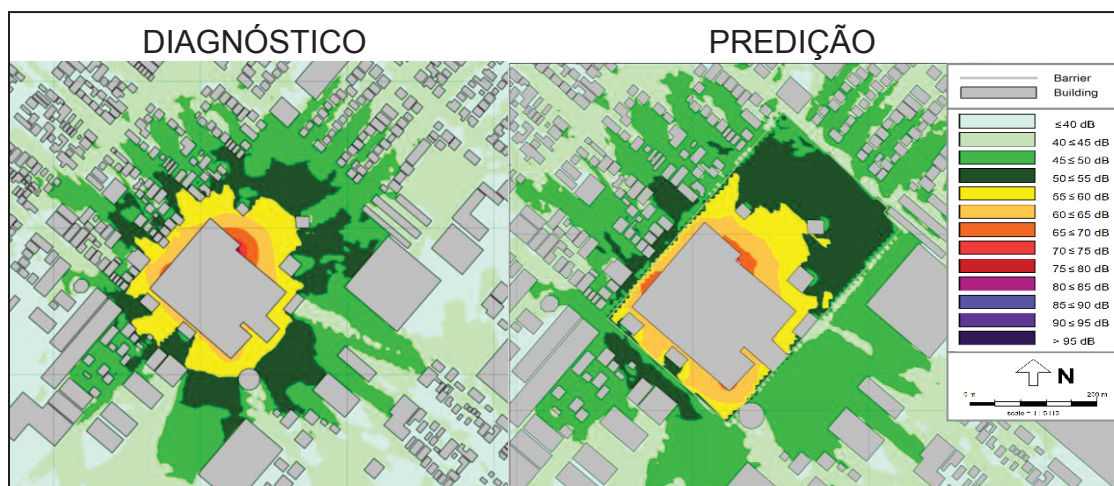


Fonte: Do autor (2019).

É notório que somente NPS abaixo de 55 dB(A), na cor verde escuro, alcança as áreas habitadas. A barreira proposta mantém os níveis sonoros mais elevados no interior planta garantindo o atendimento aos critérios legais para o horário noturno e evitando possíveis incômodos para os moradores adjacentes.

A figura 55 compara os resultados do diagnóstico e prognóstico para o ruído noturno da planta.

FIGURA 55 – COMPARAÇÃO DO NPS NOTURNO DA PLANTA, ANTES E APÓS A PROPOSTA DE BARREIRA NA DIVISA E NA TORRE DE RESFRIAMENTO.



Fonte: Do autor (2019).

A comparação das avaliações permite verificar além da redução no alcance do ruído, que agora está no interior das instalações, o aumento do NPS nas áreas internas, resultado da reflexão do ruído nas barreiras. A barreira na torre de resfriamento mostrou atenuação suficiente para amenizar a propagação do ruído no campo aberto, reduzindo o alcance das ondas sonoras na região.

A ação proposta apesar de generalista buscou atender a todas as fontes dispersas e garantiu bons resultados simulados. O somatório das ações permitiu reduzir o incômodo da atividade durante o período noturno. A tabela 18 mostra a comparação do NPS medido durante o diagnóstico em relação ao NPS de predição, com ênfase para os pontos na região externa mais próximos as residências.

TABELA 18 – COMPARAÇÃO DO NPS MEDIDO X PREVISTO

PONTO	L _{Aeq,1} dB(A) MEDIDO	L _{Aeq} dB(A) PREVISTO	REDUÇÃO dB(A)
PONTO 01	63,2	51,2	12,0
PONTO 02	58,1	50,7	7,4
PONTO 03	55,7	49,3	6,4
PONTO 04	58,3	56,1	2,2
PONTO 05	54,3	55,0	(-0,7)
PONTO 06	53,4	58,8	(-5,4)
PONTO 07	54,9	45,8	9,1
PONTO 08	58,1	59,8	(-1,7)

Fonte: Do autor (2019).

A comparação do resultado permite visualizar no ponto 01, que obteve o diagnóstico mais significativo, a redução de 12 dB(A). Para todos os demais pontos externos os resultados também foram positivos, reduzindo a exposição das pessoas ao ruído industrial noturno.

7 CONCLUSÃO

O ruído industrial apresenta complexidades pois, além da definição do nível sonoro, exige um minucioso trabalho de campo, identificando as fontes predominantes nas situações mais adversas. Esse cenário associado a uma metodologia criteriosa, com medições estratégicas e simulações detalhistas, são mais adequados para avaliar a poluição sonora gerada por uma indústria.

O ruído gerado pela indústria se mantém acima do limite legal em todos os cenários considerados, somente 11% dos pontos avaliados obtiveram níveis de pressão sonora em conformidade com os critérios legais estabelecidos.

As principais fontes sonoras identificadas foram a prensa e a empilhadeira. Ambos os ruídos gerados foram significativos, tendo alcançado L_R de 74 dB (A) para as prensas e $L_{Aeq,1}$ de 84 dB para empilhadeiras, muito acima dos requisitos legais aplicáveis para a região – 60 dB diurno e 55 dB noturno. Em ambas as situações 100% dos pontos avaliados externamente obtiveram nível sonoro superiores a 60 dB(A) para o período diurno.

A caracterização do ruído da empilhadeira mostrou que o uso do equipamento ocasiona batimento dos componentes metálicos e a geração de um ruído incômodo que não varia significativamente no deslocamento da empilhadeira, tendo alcançado o nível sonoro - $L_{Aeq,1}$ de 94 dB.

O ruído da prensa possui característica de som impulsivo, alcançando L_R de 119 dB(A), níveis elevados até mesmo para critérios ocupacionais. O ruído industrial é superior aos limites permissíveis mesmo ausente das fontes principais. O ruído residual para o período noturno e diurno alcança $L_{Aeq,5}$ de 63 dB e 67 dB, respectivamente. Além disso, a caracterização do ruído residual permitiu identificar outras fontes capazes de afetar a comunidade.

Foram realizados 24 mapas de propagação do ruído destes 09 referem-se a mapas de diagnóstico e 15 de predição. A partir destes mapas acústicos foi possível verificar que cerca de 3.915 pessoas estão expostas a poluição sonora gerada pelas atividades da indústria. Quando considerado todos os cenários avaliados, o ruído da prensa alcança níveis superiores a 60 dB(A) a mais de 600 m da fonte, enquanto o ruído da empilhadeira expõe as residências lindeiras aos maiores níveis de pressão sonora, na faixa de 90 dB(A).

A propagação do ruído da prensa no interior da indústria foi calculada por meio de mapa sonoro que simulou a arquitetura do prédio e permitiu verificar que os níveis mais elevados se mantêm em um único pavilhão, evidenciando que a arquitetura já possui características capazes de atenuar a propagação do ruído.

A medida proposta para atenuar os níveis sonoros do ruído residual diurno foi a construção de uma barreira acústica na forma de muro que obteve até 10,6 dB(A) de decaimento quando comparado ao cenário atual. Enquanto para o ruído residual noturno, além da barreira foi proposta ainda o enclausuramento da torre de resfriamento, obtendo redução de até 12 dB(A). Para reduzir o ruído gerado pela empilhadeira foram propostas ações que incluem a redução da velocidade de operação, alterações no tipo de pavimento e barreira sonora em todo o contorno da indústria, obtendo a redução do nível sonoro entre 17,5 dB(A) a até 32,8 dB(A). A ação proposta para minimizar o ruído da prensa considerou barreira na divisa da indústria e no próprio pavilhão industrial. Simulações acústicas evidenciaram uma redução de até 16,5 dB(A), reduzindo em cerca de 81,4% o número de pessoas expostas a níveis sonoros acima do permitido.

Os resultados obtidos nas simulações evidenciaram que, em grade horizontal, o ruído residual e o da empilhadeira, atenderiam os requisitos legais para a região. Todavia, quando considerado a simulação vertical, o ruído que atinge as edificações lindeiras, a partir do terceiro pavimento, possuem níveis de pressão sonora superiores aos aceitáveis, mesmo havendo uma redução substancial na propagação do ruído. De forma geral, o nível sonoro no pavimento térreo é cerca de 05 dB(A) à 10 dB(A) menor que os andares superiores.

Por fim, não há uma solução específica que atenua o ruído industrial. São necessárias ações múltiplas, que associadas podem minimizar essa poluição sonora. Os resultados encontrados estão em consonância com o trabalho de diversos pesquisadores, onde o ruído industrial é sistematicamente superior aos critérios legais, não havendo uma preocupação acústica nas etapas de planejamento da atividade ou até mesmo no planejamento urbano, que contribuem na ocorrência de conflitos entre indústria e comunidade.

A poluição sonora gerada pela indústria estudada atinge níveis considerados graves que não devem ser negligenciados, afetando o bem-estar da comunidade e exigindo a implementação das medidas propostas, que tecnicamente, podem minimizar o ruído a níveis mais confortáveis.

8 REFERÊNCIAS

ALI, A. S. Industrial noise levels and annoyance in Egypt. **Applied Acoustics**, volume 72, Issue 4, 2011. Disponível em: <<<https://bit.ly/2P2LM2x>>>. Acesso em 13 Ago 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13369**: Cálculo simplificado do nível de ruído equivalente contínuo (Leq). Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16313**: Acústica – Terminologia. Rio de Janeiro, 2014.

AZEVEDO, P.C. **Estudo da geração de ruído em prensa mecânica excêntrica de 900 toneladas**. 137 fl. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Setor de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

BABISCH W. The noise/stress concept, risk assessment and research needs. **Noise & Health**, 2002, 4(16): 1–11. Disponível em: <<https://goo.gl/FtGw69>>. Acesso em: 31/01/2018.

BARRON, R. F. Industrial Noise Control and Acoustics. Nova York, Nova York: Marcel Dekker, 2003.

BASNER, M.; BABISCH, W.; DAVIS, A.; BRINK, M.; CLARK, C.; JANSSEN, S.; STANSFELD, S. **Auditory and non-auditory effects of noise on health**. Lancet. 2014 April 12; 383(9925): 1325–1332. doi:10.1016/S0140-6736(13)61613-X. Disponível em: <<https://goo.gl/9p3vZu>>. Acesso em: 30 jan. 2018.

BELL, L.H.; BELL, D.H. Industrial Noise Control: Fundamentals and Applications. Nova York, Nova York: Marcel Dekker, 2nd ed, 1994.

BERGULAND B.; LINDVALL, T.; SCHWELA D.H. Guidelines for Community Noise. World Health Organization, Noise & Vibration Worldwide, Geneva, April 2000. Disponível em: <<https://goo.gl/3iSJUh>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

BIES, D. A; HANSEN, C. H. **Engineering Noise Control: Theory and Practice**, 3.ed. London and New York: Spon Press, 2003.

BISTAFA, S.R. **Acústica Aplicada ao Controle de Ruído**. 1ª Edição. São Paulo, SP: Edgard Blücher Ltda, 2006.

BISTAFA, S.R. **Acústica Aplicada ao Controle de Ruído**. São Paulo, SP: Edgard Blücher Ltda, 2011.

BOLJANOVIC, V. **Sheet metal forming process and die design**, New York: Industrial Press, 2004.

BOZKURT, T. S., DEMIRKALE, S.Y. The field study and numerical simulation of industrial noise mapping. **Journal of Building Engineering**, Vol.09, 2017. Disponível em: << <https://bit.ly/2J6nzVk>>>. Acesso em 13 ago 2019.

BRAGA, B. et al. **Introdução a Engenharia Ambiental**, 2 Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL, CONAMA nº 01 de 8 de março de 1990. Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política. **Diário Oficial da união**, Brasília, nº 63, 2 abr 1990, Seção 1, p 6408.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 07 - Programa de. Controle Médico de Saúde Ocupacional – PCMSO. **Diário Oficial da união**, Brasília, Ministério do Trabalho e Emprego, 2011.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 15 – Atividades e Operações Insalubres. **Diário Oficial da união**, Brasília, Ministério do Trabalho e Emprego, 2011.

CABRAL, C.M. **Acústica Industrial: aplicação da análise de vibrações e ruído à identificação de fontes de ruído em ambiente industrial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2012.

CARVALHO, R. P. **Acústica Arquitetônica**. 2. ed. Brasília: Thesaurus, 2010

CASAS, W.J.P., CORDEIRO, E.P., MELLO, T.C., ZANNIN, P. H. T. Noise Mapping as a tool for controlling industrial noise pollution. **Journal of Scientific & Industrial Research**, Vol. 73, abril 2014.

CHAMBERS, J.P.; JENSEN, P.; Noise Control. In. WANG, L.K.; PEREIRA, N.C.; HUNG, Y. **Air and Noise Pollution Control**. Totowa, New Jersey: Humana Press, 2005. P. 453-508.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS. Livro Verde: Promover um quadro europeu para a responsabilidade social das empresas. Bruxelas, COM, 2001.

CONFERENCE OF EUROPEAN DIRECTORS OF ROADS (CEDR). **Best Practice in Strategic Noise Mapping**. Final Report. 28th August 2013. Disponível em:<< <https://bit.ly/2M9Ahog>>>. Acessado em 03 set 2019.

CORTIVO, F. R. D. Mapeamento Sonoro de Indústria de Celulose e Papel. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) – Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

COSTA, E. **Acústica Técnica**. São Paulo: Blucher, 2003.

CROCKE, M.J.; KESSLER, F. M. Noise and Noise Control. Boca Raton, FL: CRC Press, Volume II, 2018.

EVEREST, F.A.; POHLMANN, K.C. **Master Handbook of Acoustics**, New York: McGraw-Hill, 5ª edição, 2009.

FIEDLER, K.; WILHELM, M. Hygiene/ Präventivmedizin/ Umweltmedizin systematisch. 2. Auflage. UNI-MED Verlag Ag – Bremen – London – Boston (in German). HANS, R.F. **Avaliação de Ruído em Escolas**. Dissertação de mestrado em engenharia mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – PROMEC, 2001.

FLORÊNCIO, D.N.P. **Avaliação do Mapa Sonoro de Tráfego Veicular no Município de Natal/RN**. 209 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

FONSECA, N. Introdução a Engenharia do Som: Som & Vídeo. Lisboa: FCA, 2012.

GOINES, L., HAGLER, LOUIS. Noise Pollution: A Modern Plague. **Southern medical journal** - Birmingham Alabama. 2007 March 03; 100(03) 287-294. DOI: 10.1097/SMJ.0b013e3180318be5. Disponível em: <<https://goo.gl/Rkp4Xm>>. Acesso em: 25 de ago de 2018.

GUARNACCIA, C.; QUARTIERI, J.; RUGGIERO, A.; Acoustical Noise Study of a Factory: Indoor and Outdoor simulations integration procedure. **International Journal of Mechanics**. Volume 08, 2014.

GUEDES, I.C.M. **Influência da forma urbana em ambiente sonoro: Um estudo de caso no Bairro Jardins em Aracaju (SE)**. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Setor de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

HAMMER MS, SWINBURN TK, NEITZEL RL. Environmental Noise Pollution in the United States: Developing an Effective Public Health Response. **Environmental Health Perspectives**. 2014;122(2):115-119. doi:10.1289/ehp.1307272. Disponível em: <<https://goo.gl/vkykgf>>. Acesso em: 06 de set. de 2018.

HUNASHAL, R. B.; PATIL, Y. B. Assessment of Noise Pollution Indices in the City of Kolhapur, India. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 37, p. 448–457, 1 jan. 2012.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<<https://bit.ly/2Mboc1U>>>. Acessado em: 13 set. 2019.

INTERNATIONAL STANDARD – ISO 9613. **Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation.** Geneva, 1996.

KADAM V.V., NAYAK R. Basics of Acoustic Science. In: PADHYE R., NAYAK R. **Acoustic Textiles: Textile Science and Clothing Technology.** Singapore: Springer, 2016. p. 33-42.

KING, E; MURPHY, E. **Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health, and Policy.** Burlington, Miami: Elsevier Science, 2014.

KUEHNER, D. INDUSTRIAL AND COMMERCIAL NOISE IN THE COMMUNITY – Pg. 1509 a 1515 - Handbook of Noise and Vibration Control. Edited by Crocker, M, J. 2007. John Wiley & Sons – EUA.

KUNZ, R.G. **Environmental Calculations: A Multimedia Approach.** Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.

LEE, C; KANAPATHIPILLAI, S. **Noise level variation in the CBD with height.** Australian Acoustical Society Conference, 2011. Acoustics 2011: Breaking New Ground. Gold Coast, Austrália. Disponível em: <<<https://bit.ly/2pc1cqk>>>. Acesso em 21 set. 2019.

LEFEBVRE, J.P. Physical Basis of Acoustics. In: FILIPPI, P. et al. **Acoustics: Basic Physics, Theory, and Methods.** Marseille: Academic Press, 1998. p. 01-99.

LICITRA, G., & MEMOLI, G. **Limits and Advantages of Good Practice Guide to Noise Mapping.** Acoustics 08 Paris, 2008. Disponível em: <<<https://bit.ly/2M7lt8d>>>. Acesso em 20 set. 2019.

MELSE JM, ESSINK-BOT ML, KRAMERS PG, HOEYMANS N. A national burden of disease calculation: Dutch disability-adjusted life-years. Dutch Burden of Disease Group. **Am J Public Health**, 2000; 90:1241-7. Disponível em: <<https://goo.gl/dpsKtS>>. Acesso em: 17 jan. 2018.

MENDONÇA, K.T., LEITE, J.C., Evaluation of Acoustics in the built Environment, Mapping and Estimation of noise in the Stamping Sector of a Metallurgical Industry. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, Vol. 06, Issue 2, Fev. 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/2KBDk80>>. Acesso em: 15/08/2019.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, DO MAR, DO AMBIENTE E DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO, **Guia prático para medições de ruído ambiente - no contexto do Regulamento Geral do Ruído tendo em conta a NP ISO 1996**, Amadora: Agência Portuguesa do Ambiente, outubro/2011. 59 Pag. Disponível em: < <https://goo.gl/UQKZJ3>>. Acesso em: 14/09/2018.

MURRAY CJ, LOPEZ AD. **The global burden of disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in**

1990 and projected to 2020. Cambridge: Harvard University Press; 1996. Acesso Disponível em: <<https://goo.gl/aexHb5f>>. Acesso em: 17 jan. 2018.

NEMETH E., PIERETTI N., ZOLLINGER S., GEBERZAHN N., PARTECKE J., MIRANDA AC., BRUMM H. **Bird song and anthropogenic noise: vocal constraints may explain why birds sing higher-frequency songs in cities.** Proceedings of the Royal Society B, 2013, 280: 20122798. Disponível em: <<https://goo.gl/CrFEC4>>. Acesso em: 25/08/2018.

OLIVEIRA FILHO, M.,V.,M. **Ruído ambiental: Avaliação Acústica de edificações em Curitiba** – PR. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) -Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

ONAVIYA, D.R; TANDEL, B.N. **A Quick review On Noise propagation models and software**, Gujarat, India, 2016. Disponível em: <<<https://bit.ly/2J7jwrH>>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

PORTUGAL, Instituto do Ambiente, **O ruído e a cidade**, 2004. Disponível em: <<https://goo.gl/LFxZw7>>. Acesso em: 30/09/2018.

RICHARDS, E.J.; STIMPSON, G.J. On the prediction of impact noise, Part IX: The noise from punch presses. **Journal of Sound and Vibration**, Southampton, 8 Novembro 1985, Volume 103, Issue 1, páginas 43-81. Disponível em: <<https://goo.gl/XSG2Jm>>. Acesso em 31 jul. 2018.

RICHARDS, E.J.; WESTCOTT, M.E.; JEYAPALAN, R.K. On the prediction of impact noise, I: Acceleration noise. **Journal of Sound and Vibration**, Southampton, 2 Fevereiro 1979, Volume 62, Issue 4, páginas 547-575. Disponível em: <<https://goo.gl/jZh1iy>>. Acesso em 31 jul. 2018.

SÃO JOSÉ DOS PINHAIS. Lei complementar nº 67 de 02 de dezembro de 2011. **Jornal Correio Paranaense**, Curitiba, PR, 07 dez 2011. Disponível em: <<<https://bit.ly/2oDsmq9>>> Acesso em: 10 mar 2019.

SÃO JOSÉ DOS PINHAIS. Lei complementar nº 107 de 19 de abril de 2016. **Dispõe sobre o zoneamento de uso e ocupação do solo do município de São José dos Pinhais.** Disponível em: <<<https://bit.ly/2JMIXPT>>> Acesso em: 11 mar. 2019.

SÃO JOSÉ DOS PINHAIS. Lei nº 1319, de 05 de dezembro de 2008. Dispõe sobre ruídos urbanos e proteção do bem-estar e do sossego público. Disponível em: <<<https://bit.ly/2NaGO2q>>> Acesso em: 10 mar 2019.

Secretaria Municipal de Planejamento e Desenvolvimento Econômico, **Estimativa da População e número de domicílios por Bairro**, Outubro/2019. Disponível em: <https://bit.ly/32jGrYF>. Acesso em 13 set. 2019.

SHARMA, R., MYRTHONG I., LAL., S. Noise Induced Health Impacts in Urban Areas: A case study in Allahabad. **International Journal of Scientific and**

Research Publications, Volume 5, Issue 1, January 2015 Edition. Disponível em: <https://goo.gl/NJqgAQ>. Acesso em: 25/08/2018.

SILVA, D.; SANTOS, N.; HAMILTON, V.; WEBER, M. A população da cidade de São Gabriel , RS e o grau de satisfação em relação à qualidade ambiental urbana The population of São Gabriel city , RS and satisfaction level in relation to urban environmental quality. **Ciência e Natura**, Santa Maria, p. 847–861, 2016.

SLABBEKOORN, H.; HALFWERK, W. Behavioural Ecology: Noise Annoys at Community Level. **Current Biology**, v. 19, n. 16, p. R693–R695, 25 ago. 2009.

Souza, L. C. L.; Almeida, M. G.; BRAGANÇA, L. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica**. São Carlos: EdufsCar, 2012.

STANSFELD S.A. Noise Effects on Health in the Context of Air Pollution Exposure. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, 14 out 2015. 12(10):12735-12760. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1660-4601/12/10/12735>>. Acesso em: 17 jan. 2018.

TIPLER, P.A; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros**. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 6 v.

VALLE, S. **Manual Prática de Acústica**. Rio de Janeiro: Música e Tecnologia, 2009.

VER, I. L; BERANEK, L.L. **Noise and Vibration Control Engineering: Principles and applications**, 2.ed. Hoboken, Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2006.

WG-AEN - EUROPEAN COMMISSION WORKING GROUP – ASSESSMENT OF EXPOSURE TO NOISE. **Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and Production of Associated Data on Noise Exposure**. Position Paper, Final Draft. Version 2, 13th January 2006. Disponível em: <<<https://bit.ly/2VxLeTC>>>. Acesso em 01 set. 2019

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Burden of Disease from Environmental Noise. Quantification of Years of Life Lost in Europe**; World Health Organization Europe: Copenhagen, Denmark, 2011. Disponível em: <<https://goo.gl/3MTMm9>> Acesso em: 19 jan. 2018.

ZANNIN, P.T. **Noise pollution in urban and industrial environments: measurements and noise mapping**. Hauppauge, Nova York: Nova Science Publishers, 2016.